



TESIS - TM 142501

ANALISIS PENGGUNAAN HHO DAN TANPA HHO TERHADAP KINERJA MOTOR BENSIN

MUHAMAD YUNUS ABDULLAH
NRP.2112202202

DOSEN PEMBIMBING :
Prof.Dr.Ir.H.Djoko Sungkono Kawano, M.Eng.Sc

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



THESIS - TM 142501

ANALYSIS THE USING OF HHO RELATED WITH FUEL MOTOR PERFORMANCE

MUHAMAD YUNUS ABDULLAH
NRP.2112202202

ADVISOR :
Prof.Dr.Ir.H.Djoko Sungkono Kawano, M.Eng.Sc

MASTER PROGRAM
ENERGY CONVERSION ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2014

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Muhamad Yunus Abdullah
NRP. 2112202202**

**Tanggal Ujian : Desember 2014
Periode Wisuda : Maret 2015**

Disetujui oleh :

**1. Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono, K, M.Eng.Sc......(Pembimbing)
NIP. 1944 09 07 1976031 001**

**2. Ary Bachtiar KP, ST, MT, Ph.D......(Penguji I)
NIP: 1971 05 24 1997021 001**

**3. Bambang Arip D, ST, M.Eng.Sc, Ph.D......(Penguji II)
NIP: 1978 04 01 2002121 001**

**4. Vivien Suphandani D, ST, M.Eng.Sc, Ph.D......(Penguji III)
NIP: 1981 05 29 2003122 001**

Direktur Program Pascasajana,

**Prof.Dr.Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 1964 04 05 1990021 001**

ANALISIS PENGGUNAAN HHO DAN TANPA HHO TERHADAP KINERJA MOTOR BENSIN

Nama Mahasiswa : Muhamad Yunus Abdullah.ST
NRP : 2112202202
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ir.Djoko Sungkono,M.Eng.Sc

ABSTRAK

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin penggerak yang banyak dipakai dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan penambahan gas hidrogen dan oksigen yang diperoleh dari elektrolisa air, bahkan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar utama serta mengurangi kadar emisi gas buang.

Gas HHO yang digunakan diperoleh dari Generator Gas H_2 (GGH) tipe dry 6 cell, 5 plate netral berukuran 92 mm x 92 mm . KOH yang digunakan sebanyak 10 gram/0,5 liter H_2O . HHO yang dihasilkan digunakan sebagai extender pada engine Sinjai premium dua silinder 644 cc. Penelitian dilakukan pada putaran 2000 rpm – 5000 rpm laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (TPBB) Teknik Mesin FTI ITS.

Dari hasil penelitian, diketahui bahwa dengan penggunaan bahan bakar premium+HHO terjadi peningkatan torsi sebesar 19,87 % , daya mesin sebesar 20,14 % , tekanan efektif rata-rata sebesar 19,87 % , efisiensi thermal sebesar 12,39 % , penurunan pemakaian konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 36,44 % , kadar emisi karbon monoksida (CO) sebesar 28,756 % , kadar emisi karbon dioksida (CO_2) sebesar 21,303 % , kadar emisi hidrokarbon (HC) sebesar 45,039 % , lambda (λ) sebesar 14,572 % ; peningkatan oksigen (O_2) sebesar 47,554 % dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar premium pada mesin Sinjai. Dari hasil yang diperoleh dapat meningkatkan performance engine dan mengurangi emisi gas buang.

Kata Kunci : HHO, Bensin, Daya Mesin ,Efisiensi Thermal. Torsi dan Emisi Gas Buang

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS THE USING OF HHO RELATED WITH FUEL MOTOR PERFORMANCE

Name : Muhammad Yunus Abdullah.ST
NRP : 2112202202
Subject : TeknikMesin FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr.Ir.Djoko Sungkono, M.Eng.Sc

ABSTRACT

Combustion engine is one of the driving engine that is widely used by utilizing the heat energy from the combustion process into mechanical energy. Combustion quality can be improved by the addition of hydrogen gas and oxygen, obtained from the electrolysis of water, even dist it can decrease the main fuel consumption and exhaust emissions level.

HHO gas used were obtained from Gas Generator H_2 (GGH) Dry type 6 cell, 5 neutral plate with the dimension 92 mm x 92 mm. KOH is used as much 10 grams / 0.5 liter H_2O . HHO is used as an extender in the two-cylinder engine with premium Sinjai 644 cc. The study was conducted in 2000 rpm - 5000 rpm.

In the research, it is known that the use of premium fuel + HHO torque increased by 19.87%, 20.14% of the engine power, average effective pressure 19.87%, the thermal efficiency 12.39%, a decrease of specific fuel consumption of 36.44%, the levels of carbon monoxide emissions (CO) of 28.756%, levels of carbon dioxide emissions (CO₂) of 21.303%, levels of emission hydrocarbons (HC) of 45.039%, lambda (λ) of 14.572% ; increase of oxygen (O₂) at 47.554% compared with the use of premium fuel in the engine Sinjai. From the results obtained can improve engine performance and reduce exhaust emissions.

Keywords : HHO, Petrol, Power Engine, Thermal Efficiency, Torque and Emissions

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS THE USING OF HHO RELATED WITH FUEL MOTOR PERFORMANCE

Name : Muhammad Yunus Abdullah.ST
NRP : 2112202202
Subject : TeknikMesin FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr.Ir.Djoko Sungkono, M.Eng.Sc

ABSTRACT

Combustion engine is one of the driving engine that is widely used by utilizing the heat energy from the combustion process into mechanical energy. Combustion quality can be improved by the addition of hydrogen gas and oxygen, obtained from the electrolysis of water, even dist it can decrease the main fuel consumption and exhaust emissions level.

HHO gas used were obtained from Gas Generator H_2 (GGH) Dry type 6 cell, 5 neutral plate with the dimension 92 mm x 92 mm. KOH is used as much 10 grams / 0.5 liter H_2O . HHO is used as an extender in the two-cylinder engine with premium Sinjai 644 cc. The study was conducted in 2000 rpm - 5000 rpm.

In the research, it is known that the use of premium fuel + HHO torque increased by 19.87%, 20.14% of the engine power, average effective pressure 19.87%, the thermal efficiency 12.39%, a decrease of specific fuel consumption of 36.44%, the levels of carbon monoxide emissions (CO) of 28.756%, levels of carbon dioxide emissions (CO₂) of 21.303%, levels of emission hydrocarbons (HC) of 45.039%, lambda (λ) of 14.572% ; increase of oxygen (O₂) at 47.554% compared with the use of premium fuel in the engine Sinjai. From the results obtained can improve engine performance and reduce exhaust emissions.

Keywords : HHO, Petrol, Power Engine, Thermal Efficiency, Torque and Emissions

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat ALLAH SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “**Analisis Penggunaan HHO Dan Tanpa HHO Terhadap Kinerja Motor Bensin**”. Tesis ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan menyelesaikan program pascasarjana (starata 2), Program Studi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan Tesis ini, penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Prof. Ir. Sutardi, M.Sc. PhD, selaku Koordinator Program S-2 Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
2. Gubernur Akademi Angkatan Laut yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti pendidikan S2 ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K, M.Eng.Sc atas bimbingannya. .
4. Bapak Dr.Bambang Sudarmanta, S.T. M.T. sebagai kepala Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar yang telah memberikan bimbingan dan fasilitas pada laboratorium.
5. Bapak-bapak penguji Proposal Tesis yang telah meluangkan waktunya.
6. Teristimewa untuk kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan semangat, dorongan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini
7. Rekan-rekan pasca sarjana Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang ikut memberikan saran, masukan dan semangat selama menyelesaikan Tesis ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah ikut memberikan petunjuk, saran, masukan, dukungan moral dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan, baik dari segi isi maupun dari segi bahasanya. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran, untuk kesempurnaan Tesis ini. Penulis berharap semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Desember 2014

Penulis

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PERSETUJUAN

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SIMBOL	xix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Pengaruh Durasi Injeksi Terhadap Performa Engine	5
2.2 Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Performa Engine	5
2.3 Parameter-Parameter Mesin Kendaraan Bermotor adalah Torsi, Daya, BMEP, SFC	6
2.4 Sistem Elektrolisa Air, Daya Yang Dibutuhkan, Laju Produksi, Efisiensi	8
2.5 Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Minyak(BBM)	13
2.5.1 Karbon Monoksida (CO).....	15
2.5.2 Hidrokarbon (HC)	16
2.5.3 Nitrogen Oksida (Nox)	17
2.6 Peneliti Terdahulu	18

2.6.1	Stanley Mayer (1995)	18
2.6.2	Effect of HHO Gas on Combustion Emissions in Gasoline Engine	18
2.6.3	Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor Mega Pro 150 cc ..	21
2.6.4	Studi Karakteristik Generator Gas HHO Dry Cell dan Aplikasinya Pada Kendaraan Bermesin Injeksi 1300 cc	23
2.6.5	Achmad Aminudin (2014) Performa Test Of Sinjai Engine bi-fuel System (Gasoline-Compressed Natural Gas) With Control Of Injection Time And Air Fuel Ratio Tesis S2 ITS Surabaya	25

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1	Rancangan/Skema Penyelesaian Penelitian (Flowchart)	31
3.1.1	Skema Flowchart Penelitian	31
3.1.2	Rancangan Generator HHO Type Dry uk 92 mm x 92 mm	32
3.1.3	Proses Pemasangan Atau Perangkaian Generator HHO Type Dry uk 92 mm x 92 mm dan konformasinya.....	33
3.2	Peralatan dan Instrumen Penelitian	34
3.2.1	Engine	34
3.2.2	Sistem Injeksi Bahan Bakar	35
3.2.3	Exhaust Gas Analyzer.....	37
3.2.4	Waterbrake Dynamometer.....	37
3.2.5	Tabung ukur konsumsi bahan bakar	38
3.2.6	Stop watch.....	39
3.2.7	Water Trap (Vaporiser).....	39
3.2.8	Injektor Mesin Sinjai	40
3.3	Proses Eksperimen dan Penelitian	40
3.3.1	Proses Eksperimen Generator HHO	41
3.3.2	Perencanaan Mixing Bahan Bakar Yang Digunakan Pada Mesin Sinjai	43
3.3.3	Metode Dan Parameter Yang Diukur	45

BAB 4 HASIL DAN ANALISA DATA

4.1.	Data Hasil Pengujian	47
------	----------------------------	----

4.1.1.	Perhitungan Performa Generator HHO	47
4.2.	Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Sinjai	49
4.2.1.	Perhitungan Daya/Brake Horse Power (BHP)	49
4.2.2.	Perhitungan SFC (Spesific Fuel Consumption)	50
4.2.3.	Perhitungan Brake Mean Efektif Pressure (Bmep)	52
4.2.4.	Perhitungan Efisiensi Thermal	54
4.3.	Analisis Performe Generator HHO Tipe Dry 6 Cell	
	5 Plat Netral	56
4.3.1.	Ampere, Daya, dan Temperatur Terhadap Waktu Uji Generator Gas HHO	56
4.3.2.	Debit, Waktu Produksi dan Efisiensi Terhadap Waktu Uji Generator Gas HHO	58
4.4.	Analisis Performa Mesin Sinjai	60
4.4.1.	Analisis Durasi Injeksi Pada Penggunaan Bahan Bakar Premium dengan Bahan Bakar Premium+HHO	61
4.4.2.	Analisis Penggunaan Bahan Bakar Premium Dengan Bahan Bakar Premium+HHO Terhadap Torsi, dan Daya Mesin	63
4.4.3.	Analisis Penggunaan Bahan Bakar Premium+HHO Dengan Bahan Bakar Premium Terhadap Tekanan Efisiensi Rata-Rata (Bmep).....	68
4.4.4.	Analisis Penggunaan Bahan Bakar Premium+HHO Dengan Bahan Bakar Premium Terhadap Efisiensi	69
4.4.5.	Analisis Penggunaan Bahan Bakar Premium+HHO Dengan Bahan Bakar Premium Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)	71
4.4.6.	Analisis Emisi Gas Buang Karbon Monoksida(CO), Karbon Dioksida (CO ₂)dan Hidrokarbon (HC).	73

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan	79
5.2.	Saran	80

DAFTAR PUSTAKA

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Alat dan Bahan Generator HHO Type Dry uk 92 mm x 92 mm	33
Tabel 3.2	Rancangan Parameter Yang Diukur.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian dasar sistem elektrolisis	8
Gambar 2.2 Sumber emisi gas buang kendaraan motor (Heisler, 1995)	14
Gambar 2.3 Tipikal kurva ketiga polutan utama yang dihasilkan motor Pembakaran dalam (kawano, 2012)	14
Gambar 2.4 Grafik hubungan lambda terhadap emisi CO dengan variasi Timing pengapian (Robert Bosch Gmbh, 2006)	15
Gambar 2.5 Grafik hubungan lambda terhadap emisi HC dengan variasi Timing pengapian (Robert Bosch Gmbh, 2006)	17
Gambar 2.6 Grafik hubungan lambda terhadap emisi Nox dengan variasi Timing pengapian (Robert Bosch Gmbh, 2005).....	18
Gambar 2.7 Grafik CO ve engine speed (Sa'ed A.Musmar et al, 2011).....	19
Gambar 2.8 Grafik effect of HHO gas on break efficiency and Fuel consumption (Sa'ed A.Musmar et. al, 2011)	19
Gambar 2.9 Grafik variasi CO2 vs engine speed (Sa'ed A.Musmar et. al, 2011)	20
Gambar 2.10 Variasi hydrocarbon vs engine speed(Sa'ed A.Musmar al 2011)	20
Gambar 2.11 Grafik lambda vs engine speed (Sa'ed A. Musmar et.al 2011)...	21
Gambar 2.12 Torsi mesin menggunakan bahan bakar Pertamina dengan pertamax + gas HHO terhadap rpm.....	22
Gambar 2.13 Daya mesin menggunakan bahan bakar pertamax dengan pertamax + gas HHO terhadap rpm	22
Gambar 2.14 Tekanan efektif rata-rata mesin menggunakan bahan bakar pertamax dengan pertamax+HHO terhadap rpm	23
Gambar 2.15 Grafik hubungan antara voltase, arus dan laju produksi gas dan pengurangan larutan elektrolisa (KOH 20%)	24
Gambar 2.16 Grafik hubungan antara putaran mesin dan konsumsi BBM tanpa dengan sistem suplai Brown gas.....	24
Gambar 2.17 Grafik antara putaran mesin dan daya mesin tanpa dan dengan sistem suplai Brown gas	25
Gambar 2.18 Grafik torsi terhadap putaran engine.....	25

Gambar 2.19 Grafik daya terhadap putaran engine	26
Gambar 2.20 Grafik Bmep terhadap putaran engine.....	27
Gambar 2.21 Grafik sfc terhadap putaran engine	28
Gambar 3.1 Skema flowchart penelitian	31
Gambar 3.2 Ukuran plat Anoda dan Katoda	32
Gambar 3.3 Ukuran plat netral	33
Gambar 3.4 Cara pemasangan generator HHO	34
Gambar 3.5 Pengujian generator HHO pada mesin Sinjai	34
Gambar 3.6 Lokasi sensor engine Sinjai	36
Gambar 3.7 Exhaust gas analyzer	37
Gambar 3.8 Waterbrake dynamometer	38
Gambar 3.9 Tabung ukur konsumsi bahan bakar	38
Gambar 3.10 Stop watch	39
Gambar 3.11 Bubbler dan Water Trap	40
Gambar 3.12 Injektor Mesin Sinjai	40
Gambar 3.13 Skema pengujian generator HHO	41
Gambar 3.14 Cara pemasangan alat uji generator HHO pada mesin Sinjai	43
Gambar 4.1 Hubungan antara ampere dan waktu pengujian generator HHO	56
Gambar 4.2 Hubungan antara daya dan waktu pengujian generator HHO	57
Gambar 4.3 Hubungan antara temperatur dan waktu pengujian generator HHO	58
Gambar 4.4 Hubungan antara debit dan waktu pengujian generator HHO	58
Gambar 4.5 Hubungan antara laju produksi dan waktu pengujian generator HHO	59
Gambar 4.6 Hubungan antara efisiensi dan waktu pengujian generator HHO	59
Gambar 4.7 Perbandingan torsi terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan premium+HHO	62
Gambar 4.8 Perbandingan daya mesin terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO ...	63
Gambar 4.9 Perbandingan lambda terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO	65

Gambar 4.10 Perbandingan lambda terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dengan bahan bakar premium+HHO.....	69
Gambar 4.11 Perbandingan efisiensi thermal terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO	70
Gambar 4.12 Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO	72
Gambar 4.13 Perbandingan kadar emisi karbon monoksi (CO) terhadap putaran mesin (rpm) dan bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO	74
Gambar 4.14 Perbandingan kadar konsentrasi oksigen (O ₂) terhadap Putaran mesin pada bahan bakar premium dengan Bahan bakar premium+HHO	75
Gambar 4.15 Perbandingan kadar emisi karbon dioksida (CO ₂) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO	76
Gambar 4.15 Perbandingan kadar emisi hidrocarbon (HC) terhadap putaran mesin pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO	77

DAFTAR SIMBOL

T	Torsi (N.m)
bhp	Brake horse power (watt)
F	Gaya (N)
W	Kerja (N.m)
n	Siklus
z	Waktu (Sekon)
N	Daya tiap selinder (watt)
Bmep	Tekanan efektif rata-rata (kpa)
A	Luasan piston (m ²)
L	Panjang langkah (m)
i	Jumlah silinder
z	Konstanta pembagi
n	Frekuensi putaran (rpm)
sfc	Spesifik fuel consumption (kg/kw.jam)
\dot{m}_{bb}	Flow rate bahan bakar (kg/s)
P	Daya generator HHO (watt)
V	Beda potensial/voltase (watt)
I	Arus listrik (Ampere)
\dot{m}	Flow rate gas HHO (kg//s)
Q	Debit produksi gas HHO (m ³ /s)
ρ	Massa jenis HHO (kg/m ³)
η_{HHO}	Efisiensi ggenerator HHO
\dot{n}	Molaritas senyawa per waktu (mol/s)
\bar{R}	Konstanta gas ideal
T	Temperatur
CO	Karbonmonoksida
HC	Hidrokarbon
NOx	Nitrogen oksida.



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin penggerak yang banyak dipakai dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan penambahan gas hidrogen dan oksigen yang diperoleh dari elektrolisa air, bahkan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar utama serta menguntungkan terhadap kebersihan lingkungan.

Salah satu alternatif bahan pengganti penambah bahan bakar engine dengan menggunakan gas HHO sebagai pembangkit tenaga menjadi usaha yang berguna dapat difungsikan pada mesin. Proses ini dapat dipakai sebagai alat uji untuk mencari alternatif bahan pengganti/penambah bahan bakar yang dapat difungsikan sebagai pembangkit tenaga pada mesin.

Yull Brown seorang warga negara Australia pada tahun 1974 telah mendapatkan paten dari hasil proses elektrolisa dari air menghasilkan gas H₂ dan O₂ yang diberi nama “Brown Gas” yang dapat digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan. Pada tahun 1980 sampai 1998, Stanley Meyer seorang Amerika yang berasal dari kota Ohio juga telah mengembangkan bahan bakar gas yang dihasilkan dengan elektrolisis air yang digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan.

Pada penelitian Sa’ed A. Musmar dan Ammar A. Al-Rousan penambahan bahan bakar gas HHO dengan generator type *wet* pada *engine* kandungan nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen oksida (NO_x) berkurang 50%, karbon monoksida (CO₂) berkurang 20%. Juga pengurangan konsumsi bahan bakar 20% dan 30%.

Pada penelitian Nofriyandi pada sepeda motor mega pro 150 cc terjadi peningkatan *performance* mesin dengan penggunaan penambahan bahan bakar gas HHO. Pada putaran 3000 rpm sampai 10000 rpm rata-rata peningkatan Daya sebesar 12.96 %. Peningkatan Torsi sebesar 13,59 %. Peningkatan efisiensi



thermal sebesar 20,83 %. Peningkatan Tekanan efektif sebesar 15,09 %. Penurunan sfc sebesar 22,22 %.

Dengan melakukan pengaturan durasi injeksi pada *engine* Sinjai berbahan bakar CNG didapatkan performa yang lebih optimal dibandingkan saat menggunakan settingan CNG standar. Kenaikan nilai torsi, daya, dan tekanan efektif rata-rata (BMEP) masing-masing sebesar 10,02%, 10,54% dan 9,34% atau pada nilai 43,04 Nm, 15,36 kW, dan 834,26 kPa. Nilai SFC diperoleh pada saat menggunakan settingan ini sebesar 0,339 kg/kW.jam atau naik sebesar 9,61%. Nilai efisiensi *thermal* masing-masing menurun sebesar 9,22%. Sedangkan kandungan emisi CO dan HC masing-masing mengalami penurunan sebesar 30,91% dan 19,9%. Sedangkan jika dibandingkan saat menggunakan bahan bakar premium nilai performa tersebut masih lebih kecil.

Dari berbagai penelitian diatas peneliti tertarik melakukan penelitian untuk mengetahui *performance* mesin berbahan bahan bakar gas hidrogen dan kadar emisi gas buang pada engine Sinjai.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dirumuskan permasalahan dari penelitian ini yaitu: Bagaimana pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO dengan menggunakan generator HHO tipe *dry* ukuran plat 92 mm x 92 mm terhadap *performance* mesin bila dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar premium standar (bensin) pada mesin Sinjai 4 langkah ?

1.3. Batasan Masalah

Mengingat begitu luasnya ruang lingkup permasalahan dalam penelitian ini sehingga kami perlu memberikan batasan masalah yang diharapkan dapat mengarahkan inti permasalahan dan mengatasi pengembangan masalah tersebut.

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan masalah yang ditetapkan, agar penelitian yang dilakukan bisa lebih terfokus. Batasan masalah tersebut adalah:

- a) Bahan bakar yang digunakan jenis bahan bakar Premium(Bensin) yang ada di pasaran produksi Pertamina
- b) Hasil percobaan hanya pada motor bensin Merk Sinjai.



- c) Kondisi engine dalam keadaan standar
- d) Unjuk kerja yang di ukur yaitu torsi, daya efektif, tekanan efektif rata-rata, konsumsi bahan bakar spesifik.
- e) Tidak membahas reaksi elektrolisa dan reaksi kimia dari proses generator HHO secara detail.

1.4. Tujuan Penelitian

Ada pun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO dengan menggunakan generator HHO tipe *dry* 92 mm x 92 mm terhadap *performance* mesin bila dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar standar premium(bensin) pada mesin Sinjai.

1.5. Manfaat Penelitian

- 1) Bagi Peneliti

Untuk mengembangkan suatu teknologi dalam pengolah bahan bakar yang lebih efektif dan efisien. Baik dari segi pengolahan maupun energi yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan pada institusi meliter terutama pada kendaraan umum untuk mobil dan motor berbahan bakar bensin.

- 2) Bagi Institusi Pendidikan

Sebagai pengetahuan penelitian lebih lanjut dalam pengembangan teknologi selanjutnya.

- 3) Bagi Institusi Pemerintah

Sebagai alternatif dalam pemecahan masalah bahan bakar yang bisa dimanfaatkan untuk kepentingan rakyat, menekan angka import minyak mentah, sehingga angka subsidi BBM bisa ditekan semaksimal mungkin dan masyarakat mampu membeli produk BBM dengan harga yang terjangkau.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Pengaruh Durasi Injeksi terhadap Performa *Engine*

Durasi injeksi adalah suatu proses lamanya injektor menyembrotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar pada setiap silinder berdasarkan fungsi waktu. Durasi injeksi pada suatu *engine* dinyatakan dalam ukuran (*milli second/ ms*). Lamanya durasi injeksi menentukan jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar.

Zhao *et al* (2002), melakukan investigasi efek dari variasi injeksi yang dikombinasikan pada pembakaran *homogenous charge compression ignition* (HCCI). Ada tiga pola injeksi bahan bakar yang dilakukan, yaitu: (i) selama waktu injeksi saat interval katup terjadi *overlap* menyebabkan perubahan keadaan bahan bakar, (ii) selama waktu injeksi saat langkah isap campuran bahan bakar dan udara harus dalam keadaan homogen dan (iii) selama waktu injeksi saat langkah kompresi keadaan campuran bahan bakar dan udara (*mixture*) terdiri dari tingkatan-tingkatan homogenitasnya.

2.2 Pengaruh *Air Fuel Ratio* terhadap Performa *Engine*

Lauber, *et.al* (2009), menjelaskan bahwa pengaturan dari *air-fuel ratio* (AFR) sebuah poin penting untuk pengontrolan sebuah *engine* dan secara khusus bertujuan mengetahui kandungan emisi gas buang. *air-fuel ration* (AFR) didefinisikan sebagai jumlah dari udara dibandingkan dengan jumlah bahan bakar secara aktual setiap silinder dibandingkan dengan secara *stoichiometric*. Variabel karakteristik kualitas dari proses pembakaran dan performa dari *engine* berdasarkan pada konsumsi bahan bakar dan emisi yang dihasilkan. Teknologi *catalyc* untuk gas buang menentukan bahwa nilai AFR berkisar pada angka 1 ($\pm 5\%$). Secara umum, untuk *engine gasoline* jumlah injeksi bahan bakar setiap silinder dikontrol dengan menggunakan AFR. *Air-fuel ratio* (AFR) pada *engine* diukur dengan menggunakan lambda sensor yang dipasang pada saluran gas buang (*exhaust manifold*).



2.3 Parameter-Parameter Mesin Kendaraan Bermotor adalah

Torsi, Daya, BMEP, SFC .

Pudjanarsa *et. al*, (2008) menjelaskan ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin Sinjai, antara lain:

1. Torsi

Kemampuan mesin dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang dihasilkannya. Dalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada *engine* adalah sebagai berikut:

$$\text{Torsi} = F.R \text{ (N.m)} \dots\dots\dots (2.1)$$

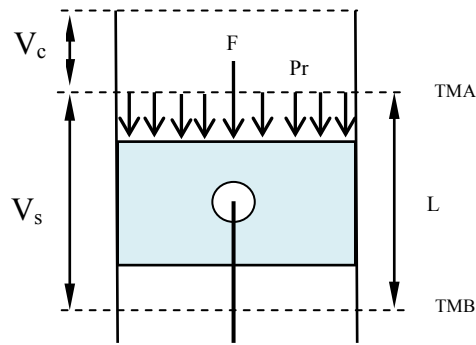
2. Daya (BHP)

Tujuan dari pengoperasian mesin adalah untuk menghasilkan daya atau *power*. *Brake horse power* merupakan daya yang dihasilkan dari poros *output* mesin yang dihitung berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya. Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan:

$$\begin{aligned} bhp &= \omega T = 2\pi nT \text{ (Watt)} \\ bhp &= 2\pi nT \text{ (Watt)} / 1000 \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

3. Tekanan efektif Rata-rata (*Brake Mean Effectif Pressure*)

Tekanan efektif rata-rata atau (bmeP) didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang *volume* langkah piston sehingga menghasilkan daya. Jika tekanan efektif rata-rata dihitung berdasarkan pada *brake horse power* maka disebut *brake mean effective pressure*.



Gaya yang bekerja mendorong piston ke bawah :

$$F = P_r A$$

Kerja selama piston bergerak dari TMA ke TMB :

$$W = F \cdot L = (P_r A) L$$

Daya motor (kerja per satuan waktu) :

Jika poros engkol berputar n rps, maka dalam 1 detik akan terjadi $\frac{n}{z}$ siklus kerja.

dimana $\frac{n}{z} \left(\frac{\text{siklus}}{\text{sekon}} \right)$; $z = 1$ (2 langkah), 2 (4 langkah)

$$\text{Daya tiap silinder : } N = \frac{P_r A L n}{z}$$

$$\text{Daya motor sejumlah "i" silinder : } N = \frac{P_r A L n i}{z}$$

Jika $N = \text{Watt}$ dan $P_r = b_{mep}$, maka :

$$b_{mep} = \frac{b_{hpz}}{A L n i} \dots\dots\dots (2.3)$$

4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*).

Merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine*, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga.

Besarnya *specific fuel consumption* (sfc) dapat dihitung dengan persamaan:

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp} \dots\dots\dots (2.4)$$

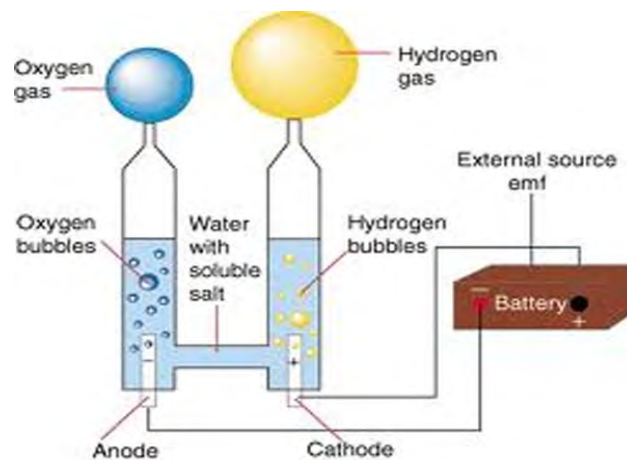
Pada pengujian standar, massa bahan bakar dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_{bb} = \rho_{bensin} \text{ Volume } \dots\dots\dots (2.5)$$



2.4 Sistem Elektrolisa Air, Daya Yang Dibutuhkan, Laju Produksi, Efisiensi

Elektrolisis adalah suatu proses pemecahan senyawa kimia tertentu menjadi suatu molekul baru dengan bantuan arus listrik dan dua elektroda. Dimana arus listrik tersebut dialirkan pada elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda). Untuk mempercepat reaksi elektrolisis diperlukan adanya elektrolit sebagai katalis. Elektrolisis menimbulkan reaksi redoks dan banyak zat yang dihasilkan berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang mengalir dalam sel elektrolisis.



Gambar 2.1 Rangkaian dasar sistem elektrolisasi

(www.gambar.generator.HHO.ac.id, 2014)

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa untuk melakukan proses elektrolisa hanya membutuhkan 4 komponen utama yaitu baterai, elektroda, elektrolit dan bejana air.

Parameter Peforma Generator HHO

Pemasangan generator HHO untuk digunakan pada mesin Sinjai harus memperhatikan faktor biaya pembuatan, biaya instalasi, biaya perawatan dan juga faktor *safety*. Sehingga masyarakat dapat merasa aman ketika akan menggunakannya. Dengan pemakaian generator HHO pada mesin Sinjai diharapkan masyarakat dapat mengurangi biaya pembelian BBM pada kendaraan. Untuk memperoleh biaya yang sekecil mungkin akan sangat



dipengaruhi oleh performa dari generator HHO tersebut. Adapun parameter performa dari generator HHO tersebut adalah:

1. Daya yang dibutuhkan oleh generator HHO
2. Laju produksi gas HHO (*mass flowrate*)
3. Efisiensi generator HHO

1. Daya yang dibutuhkan oleh generator HHO

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan proses elektrolisa air dibutuhkan energi listrik. Sumber energi listrik generator bisa di ambil dari aki sepeda motor. Untuk itu perlu diketahui seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO. Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan adalah :

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

- P = Daya Generator HHO (watt)
V = Beda potensial/voltase (volt)
I = Arus listrik (Ampere)

Beda potensial didapat dengan menggunakan voltmeter yang dipasang paralel dengan rangkaian dan arus listrik dapat diukur menggunakan amperemeter yang dipasang secara seri dengan rangkaian selama pengujian berlangsung.

2. Laju produksi gas HHO (*mass flowrate*)

Untuk menghitung laju produksi gas HHO, maka harus diketahui dahulu massa jenis dari gas HHO itu sendiri. Jika pada STP (keadaan ideal) massa jenis H_2 diketahui sebesar $\rho_{H_2} = 0,08235 \text{ gr/ltr}$ dan O_2 sebesar $\rho_{O_2} = 1,3088 \text{ gr/ltr}$ (*Cole Parmer Instrument, 2005*) , maka ρ_{HHO} dapat dicari penurunan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} \\ &= \frac{m_{H_2} + m_{O_2}}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} \\
 &= \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\
 &= \left(\frac{2}{3} \times 0.08235 \frac{gr}{L} \right) + \left(\frac{1}{3} \times 1.3088 \frac{gr}{L} \right) \\
 &= 0.491167 \frac{gr}{L}
 \end{aligned}$$

Produk utama proses elektrolisa air dengan menggunakan generator HHO adalah gas HHO. Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kinerja generator HHO, perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO tersebut. Untuk menghitung *massflowrate* gas HHO dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

- \dot{m} = Laju Produksi Gas HHO (Flow Rate) (kg/s)
- Q = Debit produksi Gas HHO (m³/s)
- ρ = Massa Jenis HHO (kg/m³)

$$Q = V/t \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- V = Volume gas terukur (m³)
- t = waktu produksi gas HHO (detik)

Volume gas terukur didapatkan dari peralatan ukur gas yang peneliti buat dengan lembaran plastik yang dibuat silinder tertutup di salah satu sisinya tanpa ada kebocoran dengan volume ukur 500 cc dan waktu produksi gas didapat dari pengukuran waktu menggunakan stopwatch dimulai dari garis 0cc sampai gas memenuhi volume silinder ukur sebesar 500 cc.

3. Efisiensi generator HHO (η_{HHO}), [%]

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Adapun kegunaan penghitungan efisiensi

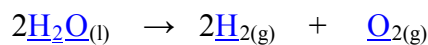


suatu alat-alat konversi energi adalah untuk mengetahui seberapa optimal alat tersebut dapat bekerja.

$$\eta = \frac{\text{Energi yang berguna (Output)}}{\text{Energi yang diberikan (Input)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas H₂ dan O₂ mempunyai nilai kalor, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung didalamnya untuk meningkatkan pembakaran pada motor bakar. Karakteristik gas HHO yang cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas H₂), karena kandungan H₂ sebesar 2/3 volume gas HHO. Namun, nilai kalor pada umumnya mempunyai satuan energi persatuan massa.

Dari persamaan kimia reaksi elektrolisis air berikut ini dapat dihitung seberapa besar kandungan massa H₂ dalam gas HHO. Jika massa H₂O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H₂ dan O₂ juga 1kg, sehingga jika diketahui *M* (berat molekul) H₂O = 18, *M* H₂ = 2, *M* O₂ = 32, maka didapatkan mol H₂ :



Dari perbandingan mole pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung berapa massa H₂ dalam 1 kg gas HHO, yaitu :

$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1 \text{ kg}}{18 \text{ kg/mol}} = 0.055 \text{ mol}$$

$$\eta_{\text{H}_2} = \frac{\text{Koef. H}_2}{\text{Koef. H}_2\text{O}} = \frac{1 \text{ kg}}{18 \text{ kg/mol}} = 0.055 \text{ mol}$$

$$\eta_{\text{H}_2} = \frac{\text{Koef. H}_2}{\text{Koef. H}_2\text{O}} \times \eta_{\text{H}_2\text{O}} \frac{2}{2} \times 0.055 \text{ mol} = 0.055 \text{ mol}$$

$$m_{\text{H}_2} = \eta_{\text{H}_2} \times M_{\text{H}_2} = 0.055 \text{ mol} \times 2 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 0.111 \text{ kg} \text{ atau } \frac{1}{9} \text{ kg}$$

Jadi massa H₂ dalam gas HHO hanya sebesar 1/9 massa total gas HHO, maka NKB (nilai kalor bawah) gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas H₂ yaitu = 1/9 x 119,93 kJ/g = 13,325 kJ/g atau 13,325 MJ/kg.

Perubahan entalpi pembakaran standar adalah perubahan entalpi total pada suatu sistem reaksi (dimana reaktan dan produk reaksi dinyatakan sebagai sistem termodinamik yang terjadi ketika satu molekul bereaksi sempurna dengan



oksigen yang terjadi pada 298°K dan tekanan atmosfer 1 atm. Umumnya, nilai entalpi pembakaran dinyatakan dalam Joule atau Kilo Joule per satu mol reaktan yang bereaksi sempurna dengan oksigen. Setiap sistem atau zat mempunyai energi yang tersimpan didalamnya. Energi potensial berkaitan dengan wujud zat, volume, dan tekanan. Energi kinetik ditimbulkan karena atom-atom dan molekul-molekul dalam zat bergerak secara acak. Jumlah total dari semua bentuk energi itu disebut **entalpi (H)**. Entalpi akan tetap konstan selama tidak ada energi yang masuk atau keluar dari zat. Misalnya entalpi untuk air dapat ditulis $H_{H_2O(l)}$ dan untuk es ditulis $H_{H_2O(s)}$. Entalpi (H) suatu zat ditentukan oleh jumlah energi dan semua bentuk energi yang dimiliki zat yang jumlahnya tidak dapat diukur. Perubahan kalor atau entalpi yang terjadi selama proses penerimaan atau pelepasan kalor dinyatakan dengan *perubahan entalpi* (Δh). Ada 2 reaksi dalam larutan, yaitu:

- Eksoterm, yaitu proses melepaskan panas dari sistem ke lingkungan, temperatur dari campuran reaksi akan naik dan energi potensial dari zat-zat kimia yang bersangkutan akan turun.
- Endoteren, yaitu menyerap panas dari lingkungan ke sistem, temperatur dari campuran reaksi akan turun dan energi potensial dari zat-zat kimia yang bersangkutan akan naik pada reaksi penguraian air :

$H_2O(l) \rightarrow H_{2(g)} + 0,5O_{2(g)} = +285,84 \text{ kJ/mol}$ adalah reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah :

$$\Delta h = +285,84 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP :

$$PV = n\bar{R}T \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

- P = Tekanan Gas ideal (atm)
- V = Volume gas terukur (L)
- n = Molaritas senyawa (mol)
- \bar{R} = Konstanta Gas ideal (L.atm/mol.K)



T = Temperatur, 298°K.

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Energi ikatan dinyatakan dalam kilo joule per mol (kJ mol^{-1}). Untuk menghilangkan nilai per mol dari entalpi dan menyamakan nilai input dari daya dengan satuan watt (J/s), maka volume gas dan mol diberi satuan per waktu. Perumusannya adalah :

$$P \dot{V} = \dot{n} \bar{R} T$$

$$\dot{n} = \frac{P \dot{V}}{\bar{R} T} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

\dot{V} = Volume per detik (Liter/s)

\dot{n} = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

Maka,

$$\eta = \frac{\text{Energi teoritis yang digunakan untuk elektroda}}{\text{Energi aktual yang dibutuhkan generator HHO}} \times 100 \%$$

$$= \frac{\Delta h_f \dot{n}}{(V I)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

2.5 Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Minyak (BBM)

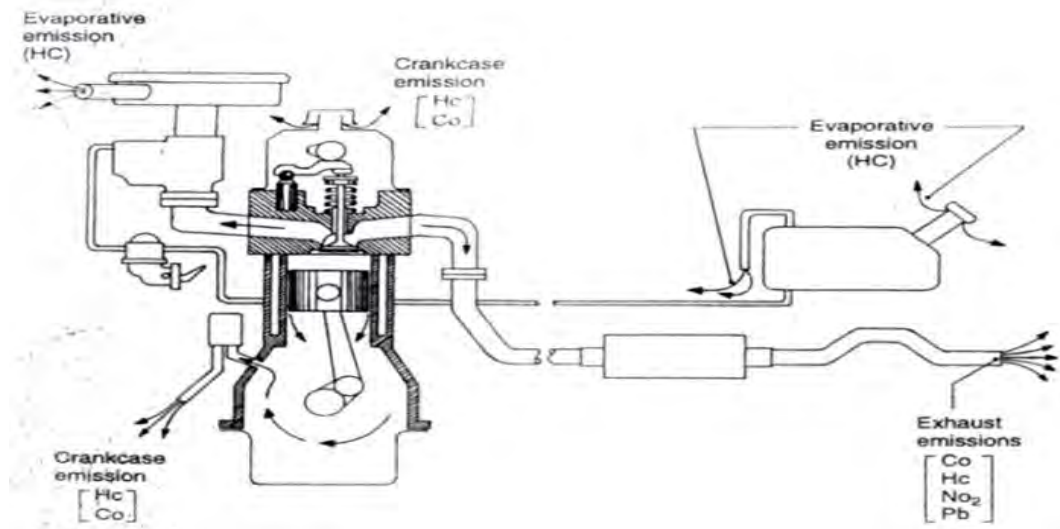
Menurut Swisscontact (2001), gas buang kendaraan bermotor terdiri atas zat yang tidak beracun, seperti: nitrogen (N_2), karbondioksida (CO_2), dan uap air (H_2O) dan zat beracun seperti: karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), sulfur oksida (SO_x), zat debu timbal (Pb), dan partikulat.

Pada kendaraan bermotor polusi berasal dari empat sumber, yaitu:

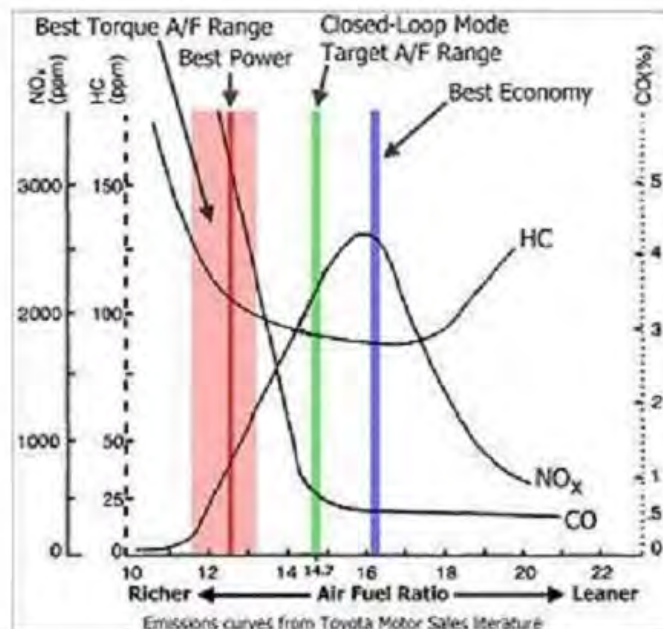
- Pipa gas buang (knalpot) adalah sumber yang paling utama (65-85 persen) dan mengeluarkan hidrokarbon (HC) yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam-macam nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), dan campuran alkohol, aldehida, keton, penol asam, ester, ether, eoksida, peroksida, dan oksigenat yang lain.
- Bak oli adalah sumber kedua (20 persen), dan mengeluarkan hidrokarbon yang terbakar maupun tidak yang dikarenakan *blowby*.
- Tangki bahan bakar adalah faktor yang disebabkan oleh cuaca panas dengan kerugian penguapan hidrokarbon mentah (5 persen)



- d. Karburator adalah faktor lainnya, terutama pengendalian pada posisi *stop-and go* (kondisi macet) dengan cuaca panas, dengan kerugian penguapan dan bahan bakar mentah (5-10 persen) (Obert, 1973).



Gambar 2.2 Sumber emisi gas buang kendaraan motor (Heisler, 1995)



Gambar 2.3 Tipikal kurva ketiga polutan utama yang dihasilkan motor pembakaran dalam (Kawano, 2012).



Pada motor pembakaran dalam karakteristik produk gas buang dari pembakaran di ruang bakar adalah bila karbon monoksida (CO) mengecil, maka oksida nitrogen (NO_x) akan naik tinggi sementara itu hidrokarbon yang terbakar (HC) juga mengalami kenaikan walaupun tidak setinggi NO_x . Pada Gambar 2.3 berikut ini tipikal emisi gas buang yang dikeluarkan pada motor pembakaran dalam.

2.5.1 Karbon Monoksida (CO)

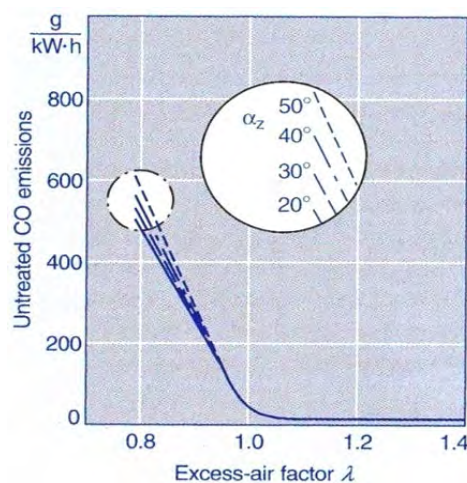
Menurut Robert (2006), Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Dalam tubuh manusia, karbon monoksida menghalangi kemampuan darah untuk menangkap oksigen, hingga mudah untuk teracuni. Selain itu, menurut Warju (2009), apabila karbon di dalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna, maka terjadi reaksi sebagai berikut:



Namun, apabila unsur oksigen (udara) tidak cukup, maka terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna yang menghasilkan CO seperti pada reaksi di bawah ini:



Jumlah gas CO yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan diperingati oleh perbandingan antara udara dan bahan bakar yang dihisap oleh mesin ke dalam ruang bakar.



Gambar 2.4 Grafik hubungan λ terhadap emisi CO dengan variasi *timing* pengapian (Robert Bosch GmbH, 2006)



Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa pada saat campuran kaya (kekurangan udara) emisi gas buang CO cenderung naik. Hal ini dikarenakan atom karbon (C) yang berasal dari bahan bakar kekurangan oksigen (O_2) yang berasal dari udara berikatan melalui reaksi kimia di dalam ruang bakar dan berubah menjadi karbon dioksida (CO_2). Sedangkan pada kondisi campuran miskin (kelebihan udara) konsentrasi CO berbanding lurus dengan campuran bahan bakar dan udara yang dihisap sehingga konsentrasi CO akan turun karena oksigen yang berasal dari udara cukup untuk memenuhi reaksi dengan karbon membentuk CO_2 .

2.5.2 Hidrokarbon (HC)

Menurut Robert (2006), hidrokarbon (HC) adalah gabungan bahan kimia karbon (C) dan hidrogen (H). Emisi hidrokarbon disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna pada campuran udara dan bahan bakar dimana ada kekurangan pada oksigen. Sumber dari emisi hidrokarbon (HC) adalah bahan bakar yang belum terbakar tetapi sudah keluar bersama-sama gas buang ke atmosfer, karena bahan bakar yang dipakai pada motor bensin terbuat dari hidrokarbon. Selain itu disebabkan oleh pembakaran yang kurang sempurna karena kekurangan oksigen, sehingga ada sebagian bahan bakar yang belum terbakar dan keluar masih dalam bentuk hidrokarbon, atau juga terjadi karena penguapan dari tangki bahan bakar dan bak oli.

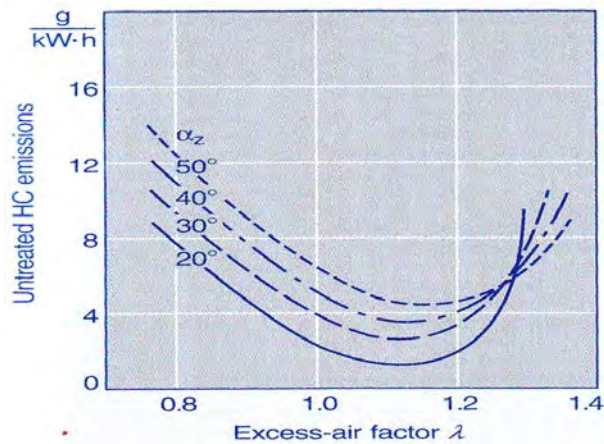
Apabila campuran miskin, maka konsentrasi HC menjadi naik. Hal ini disebabkan kurangnya pasokan bahan bakar sehingga menyebabkan rambatan bunga api menjadi lambat dan bahan bakar akan segera keluar sebelum terbakar dengan sempurna, dan juga pada kondisi campuran kaya konsentrasi HC akan naik akibat dari adanya bahan bakar yang belum bereaksi dengan udara yang dikarenakan dengan pasokan udara tidak cukup untuk bereaksi menjadi sempurna, sehingga ada sebagian hidrokarbon yang keluar pada saat proses pembuangan.

Selain itu, menurut Swisscontact (2001), penyebab utama timbulnya HC, yaitu:

- a. Dinding-dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah mengakibatkan HC sekitar dinding tidak terbakar.
- b. Terjadinya *misfiring* (kesalahan pengapian).



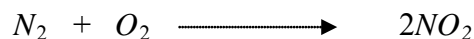
- c. Adanya *overlap intake valve* (kedua katub bersama-sama terbuka), sehingga HC berfungsi sebagai gas pembilas/ pembersih.



Gambar 2.5. Grafik hubungan λ terhadap emisi HC dengan variasi *timing* pengapian (Robert Bosch GmbH, 2006)

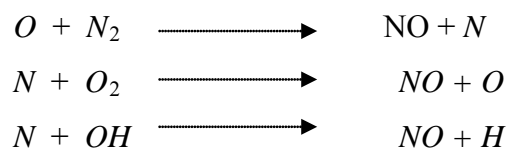
2.5.3 Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen oksida (NO_x) adalah emisi yang dihasilkan oleh pembakaran yang terjadi pada temperatur yang tinggi. Udara yang digunakan untuk pembakaran mengandung nitrogen sekitar 78,03%. Pada temperatur yang cukup tinggi (1800 °C – 2000 °C) nitrogen dalam campuran bahan bakar dengan udara akan bersatu dan membentuk nitrogen oksida.



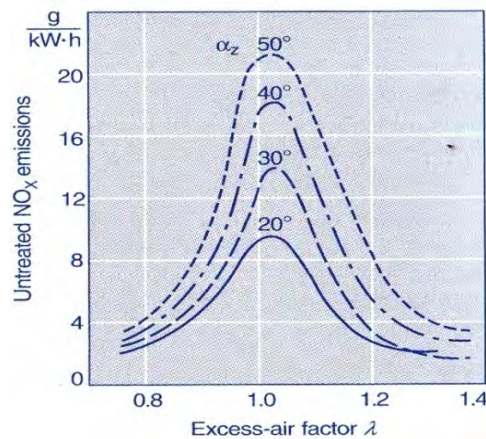
Selanjutnya, gas NO yang bereaksi di udara membentuk NO₂. Pada proses pembakaran di atas 2000 °C kemungkinan timbulnya gas NO_x sangat besar. Sementara itu, NO_x di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3-4% NO₂ dan sisanya N₂O, N₂O₃ (Swisscontact, 2001).

Menurut Pulkrabek (1997), reaksi terbentuknya NO adalah sebagai berikut:





Pembentukan gas NO_x juga tergantung dari perbandingan jumlah bahan bakar dan udara yang dihisap kedalam silinder dan temperatur kerja mesin. Pada Gambar 2.23 dapat diamati bahwa pada saat rentang campuran kaya (*rich range*) ada kenaikan kadar NO_x seiring dengan naiknya konsentrasi oksigen. Kadar NO_x maksimum terjadi pada rentang perbandingan udara dan bahan bakar 1,05 sampai 1,1. Sedangkan, pada rentang campuran kurus (*lean range*) konsentrasi NO_x turun akibat turunnya temperatur kerja.



Gambar 2.6. Grafik hubungan lambda terhadap emisi NO_x dengan variasi timing pengapian (Robert Bosch GmbH, 2006)

2.6 Peneliti Terdahulu

Pada sub bab ini akan di tampilkan beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian tesis ini.

2.6.1 Stanley Meyer (1995)

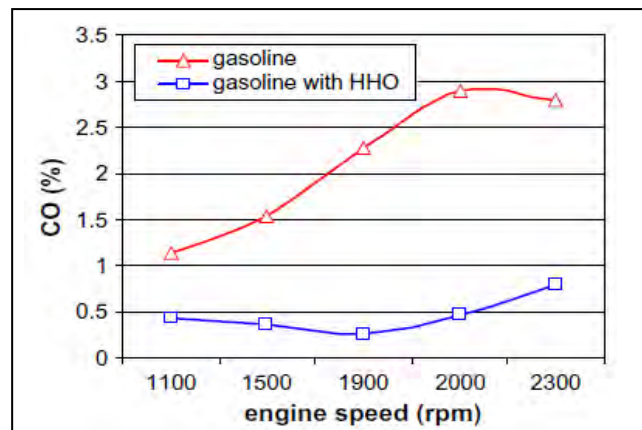
Menemukan sistem bahan bakar elektrolisa air yang sempurna sekaligus sistem kontrol elektroniknya untuk menjalankan mobil VW *Beetle* dan berhasil berjalan sejauh 160 km dengan menggunakan 3 liter air.

2.6.2 Effect Of HHO Gas on Combustion Emissions in Gasoline Engines

Hasil penelitian Sa'ed A. Musmar dan Ammar A. Al-Rousan (Juni 2011) menunjukkan bahwa campuran HHO, udara, dan bensin menyebabkan penurunan

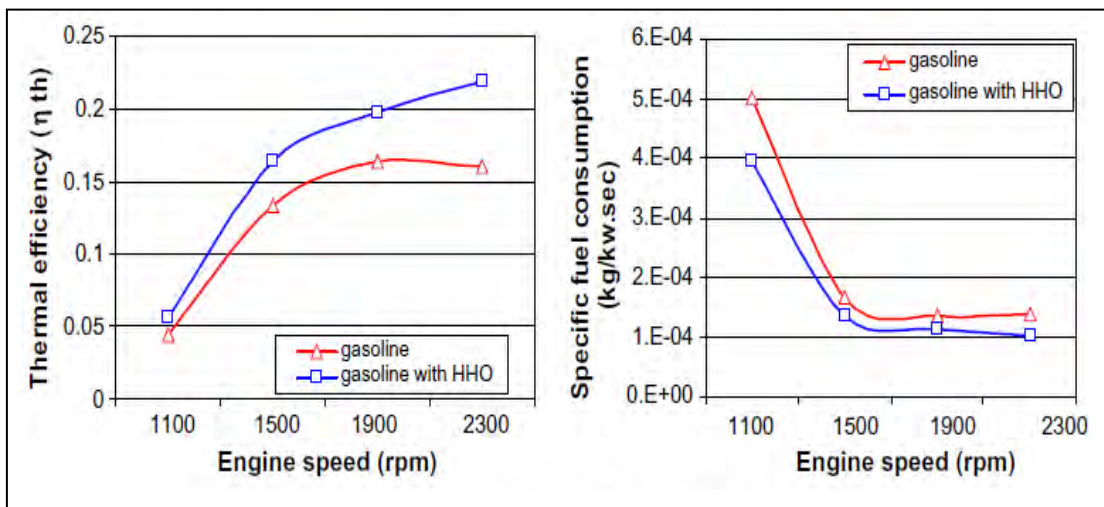


pencemar emis gas buang dan terjadi peningkatan efisiensi mesin. Uji emisi dilakukan dengan memvariasikan kecepatan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen oksida (NOx) berkurang sekitar 50% ketika ditambahkan campuran gas HHO, udara, dan bahan bakar yang standar. Selain itu, karbon monoksida berkurang sekitar 20%. Pengurangan konsumsi bahan bakar berkisar antara 20% dan 30%



Gambar 2.7 Grafik CO vc engine speed (rpm)
(Sa'ed A. Musmar *et. al*, 2011)

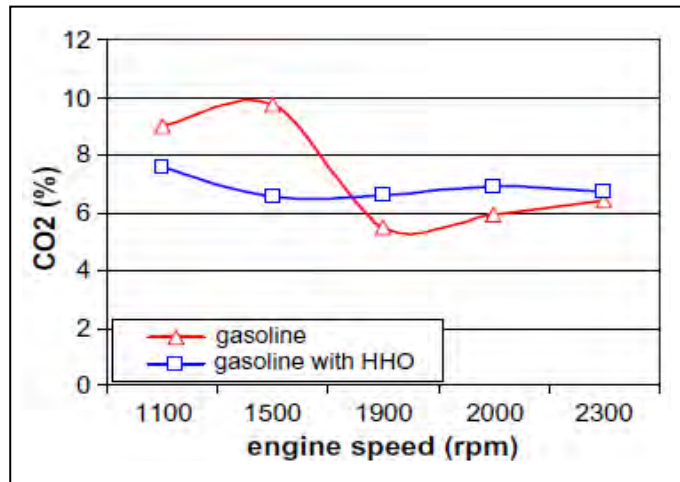
Pada Gambar 2.7 Menggunakan campuran gas HHO mengurangi secara signifikan karbon monoksida (CO) karena pembakaran yang efisiensi pada mesin dan juga pengaruhi bahan bakar terhadap udara.



Gambar 2.8. Grafik effect of HHO gas on break efficiency and fuel consumption (Sa'ed A. Musmar *et. al*, 2011)

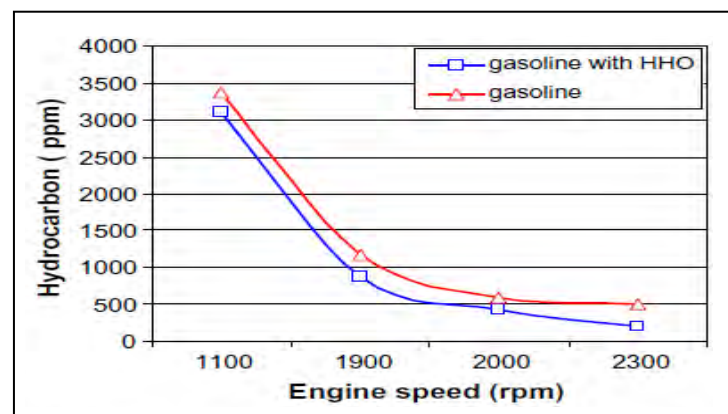


Pada gambar 2.8 dengan penambahan gas HHO dapat meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan sfc. Ini dikarenakan terjadinya konfigurasi diatomik gas HHO (H_2 , O_2) menghasilkan pembakaran efisien karena atom hidrogen dan oksigen berinteraksi langsung tanpa penundaan pengapian. Ini secara efektif memperkaya rasio udara bahan bakar karena lebih banyak bahan bakar yang tersedia.



Gambar 2.9 Variasi CO₂ vs engine speed (rpm)
(Sa'ed A. Musmar *et. al*, 2011)

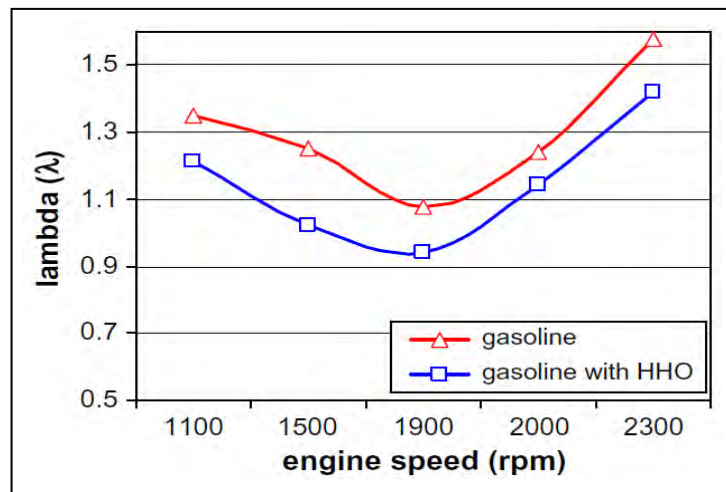
Pada Gambar 2.9 dapat terlihat bahwa hasilnya menunjukkan dengan penambahan gas HHO mesin pada putaran 1900 rpm nilai karbon dioksida berkurang hingga 40 %. Hal ini terkait dengan waktu yang tersedia untuk reaksi pembakaran berlangsung, kecepatan mesin yang lebih tinggi menyebabkan waktu pembakaran lebih pendek.



Gambar 2.10 Variasi Hydrocarbon vs engine speed (rpm).
(Sa'ed A. Musmar *et. al*, 2011)



HC adalah masalah terburuk untuk mesin kendaraan. Pada Gambar 2.10 konsentrasi HC di knalpot berbanding terbalik dengan kecepatan mesin. Hal ini disebabkan peningkatan turbulensi intensitas proses gas terbakar dan tidak terbakar sehingga meningkatkan tingkat oksidasi HC. Terjadi penurunan konsentrasi HC di knalpot dengan penambahan gas HHO.

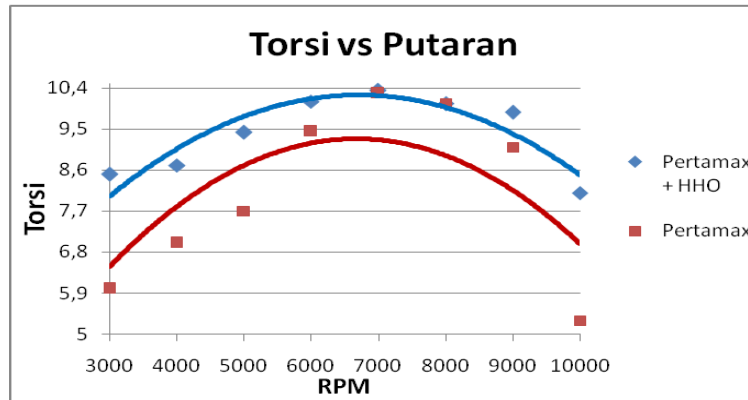


Gambar 2.11 Variasi Lamda vs engine speed (rpm).
(Sa'ed A. Musmar *et. al*, 2011)

Pada Gambar 2.11 hasil menunjukkan penambahan gas HHO nilai lamda lebih mendekati 1, karena meningkatkan karakteristik pembakaran dan akibatnya mengurangi konsumsi bahan bakar pada setiap kecepatan.

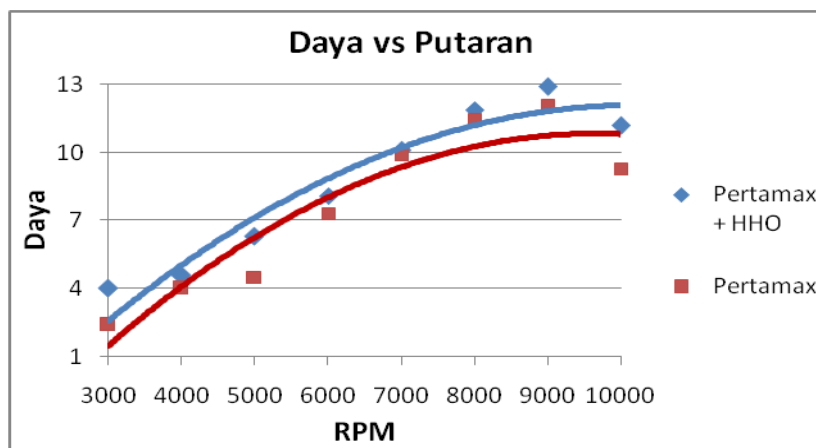
2.6.3 Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor Mega Pro 150 cc

Penelitian **Nofriyandi. R** Teknik Mesin S2 ITS percobaan secara eksperimen dengan menggunakan generator HHO tipe dry Ukuran plate 70 mm x 70 mm. Didapatkan bahwa Terjadi peningkatan *performance* mesin dengan penggunaan dan penambahan bahan bakar gas HHO pada setiap putaran,



Gambar 2.12 Torsi Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM
(Tesis Nofriyandi.R. S2 ,ITS, 2014)

Gambar 2.12 memperlihatkan bahwa pada putaran mesin rendah (3000 rpm sampai 4000 rpm) torsi yang dihasilkan meningkat dengan bertambahnya putaran mesin dan torsi mencapai titik maksimum (putaran mesin 7000 rpm), kemudian torsi yang dihasilkan berkurang seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Berkurangnya torsi ketika putaran mesin bertambah disebabkan karena nilai AFR aktual yang semakin miskin seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Penggunaan bahan pertamax murni pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan torsi yang dihasilkan dari penggunaan campuran bahan bakar pertamax-HHO.

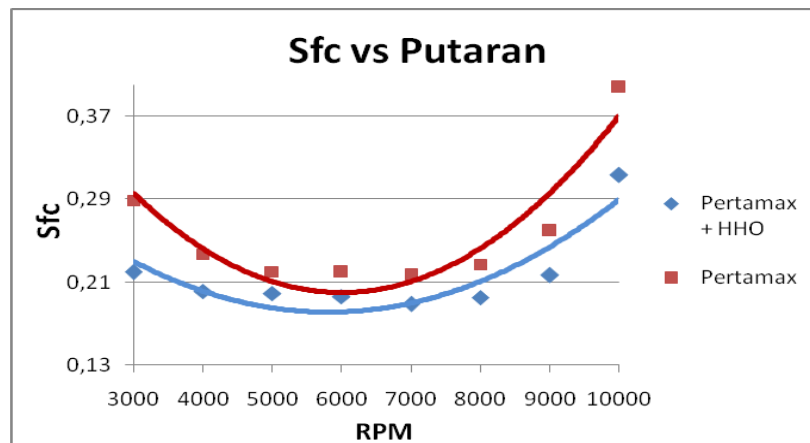


Gambar 2.13 Daya Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM
(Tesis Nofriyandi.R. S2 . ITS, 2014)

Pada gambar 2.13 terlihat bahwa daya mesin bertambah seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Daya mesin maksimum (putaran 9000 rpm) dan



kemudian berkurang pada putaran mesin yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena kerugian gesekan (*friction loss*) meningkat dengan bertambahnya putaran mesin dan menjadi faktor dominan pada putaran mesin yang lebih tinggi (Pulkrabel, 1997 hal. 52).



Gambar 2.14 Tekanan Efektif Rata-rata Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM (Tesis Nofriyandi.R .S2. ITS, 2014)

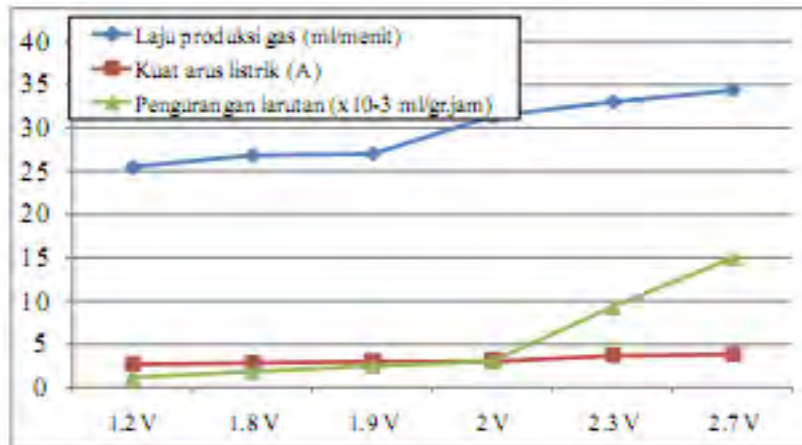
Pada gambar 2.14 diatas dapat disimpulkan, dengan penambahan generator gas HHO trendline konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih rendah dari pada menggunakan bahan bakar pertamax murni. Ini disebabkan adanya penambahan pasokan energi baru dari HHO yang juga mempengaruhi terhadap peningkatan daya pada mesin sehingga mengurangi penggunaan pada bahan bakar pertamax murni. Namun pada kondisi titik paling rendah pada bahan bakar pertamax murni dengan dipasang generator gas HHO cenderung berhimpitan. Dalam artian tidak ada perbedaan yang cukup signifikan terhadap konsumsi bahan bakar spesifik ini dikarenakan perbandingan daya maksimum yg dihasilkan begitu besar sehingga akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik

2.6.4 Studi Karakteristik Generator Gas HHO Dry Cell dan Aplikasinya Pada Kendaraan Bermesin Injeksi 1300 cc.

Penelitian yang dilakukan Harus laksana guntur, et, al 2011. Melakukan penelitian tentang pengembangan sistem suplai Brown gas pada mesin mobil 1300cc dengan sistem karburator yang dilakukan menunjukkan bahwa produksi gas maksimum terjadi pada konsentrasi katalis (KOH) 30% dan laju produksi

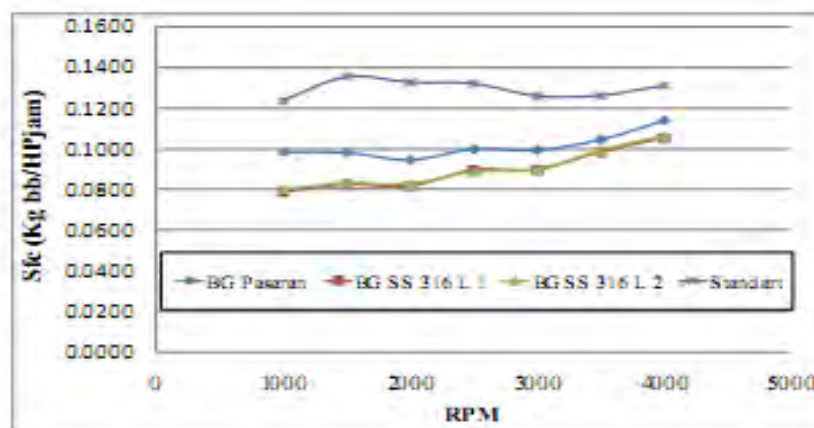


gas berbanding lurus dengan temperatur kerja. Sementara hasil uji performa mesin sesudah menggunakan sistem suplai Brown gas menunjukkan penurunan konsumsi BBM yang signifikan, yaitu sebesar 30%, dibanding dengan sebelum menggunakan sistem suplai Brown gas. Hasil uji emisi juga menunjukkan terjadi penurunan konsentrasi CO dari 0,67% menjadi 0,12% dan CO₂ dari 16,90% menjadi 15,50%.

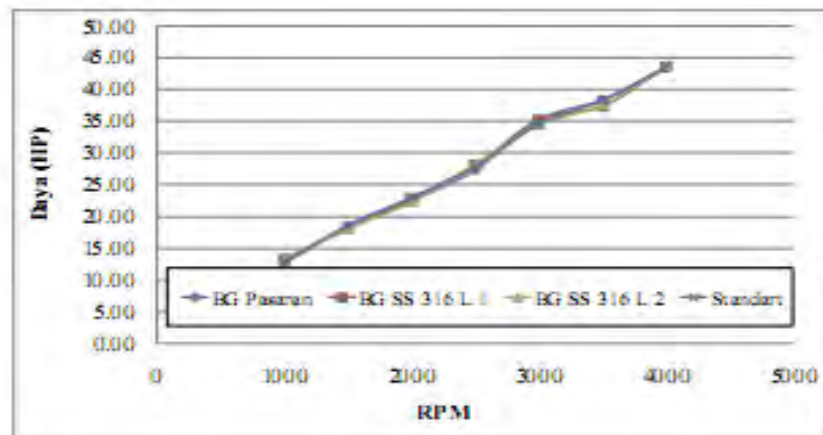


Gambar 2.15 Grafik Hubungan antara Voltase, Arus, Laju Produksi Gas dan Pengurangan Larutan Elektroliser (KOH=20% dan T=30°C)
(Guntur, H.L et. Al, 2011)

Gambar 2.15 menunjukkan hubungan antara suplai voltase dan arus kerja (daya) dengan laju produksi gas dan pengurangan larutan pada elektroliser satu ruang pada temperatur kerja 30°C dan konsentrasi KOH 20%.



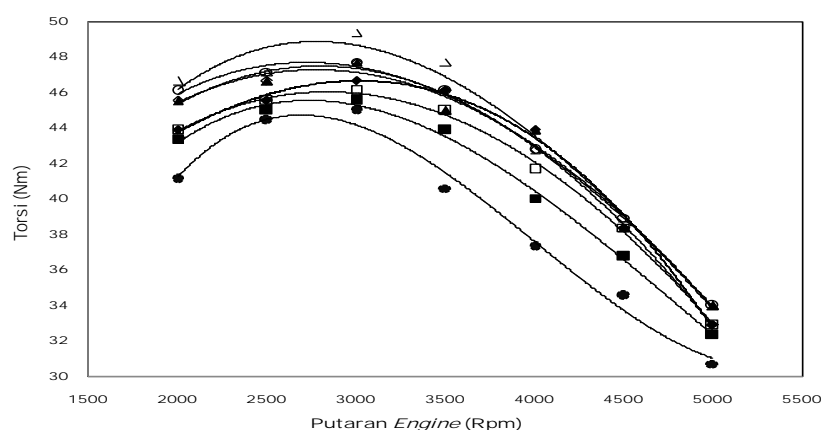
Gambar 2.16 Grafik Hubungan antara Putaran Mesin dan Konsumsi BBM Tanpa dan dengan Sistem Suplai Brown Gas
(Guntur, H.L et. Al, 2011)



Gambar 2.17 Grafik hubungan antara putaran mesin dan daya mesin tanpa dan dengan sistem suplai Brown Gas (Guntur, H.L et. Al, 2011)

Gambar 2.16 dan Gambar 2.17 menunjukkan hubungan antara suplai voltase dan arus kerja (daya) dengan laju produksi gas dan pengurangan larutan pada elektroliser satu ruang pada temperatur kerja 30°C dan konsentrasi KOH 30% serta 40%.

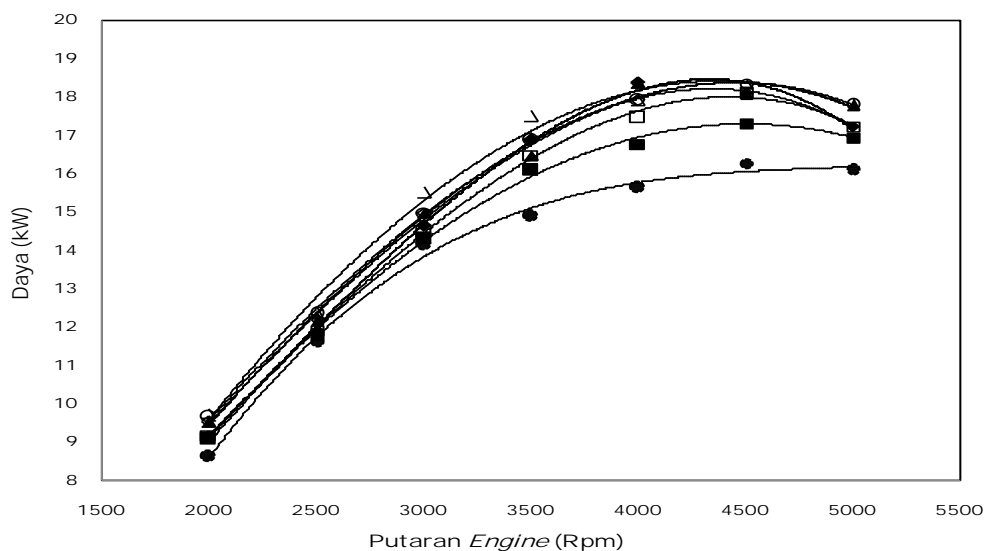
2.6.5 Achmad Aminudin , (2014), *Performance test of sinjai engine bi-fuel system (gasoline-compressed natural gas) with control of injection time and air fuel ratio*, Tesis S2 ITS, Surabaya



Gambar 2.18 Grafik torsi terhadap putaran *engine* (rpm). (Achmad Aminudin et. al, 2014)



Pada gambar 2.18 diatas dapat diketahui bahwa *trenline* grafik torsi untuk pengujian premium dan CNG standar maupun CNG dengan variasi durasi injeksi terjadi peningkatan nilai torsi pada putaran 2000 rpm sampai puncaknya pada putaran 3000 rpm, kemudian mengalami penurunan sampai pada putaran *engine* 5000 rpm. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran *engine*, jumlah campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, proses pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi.

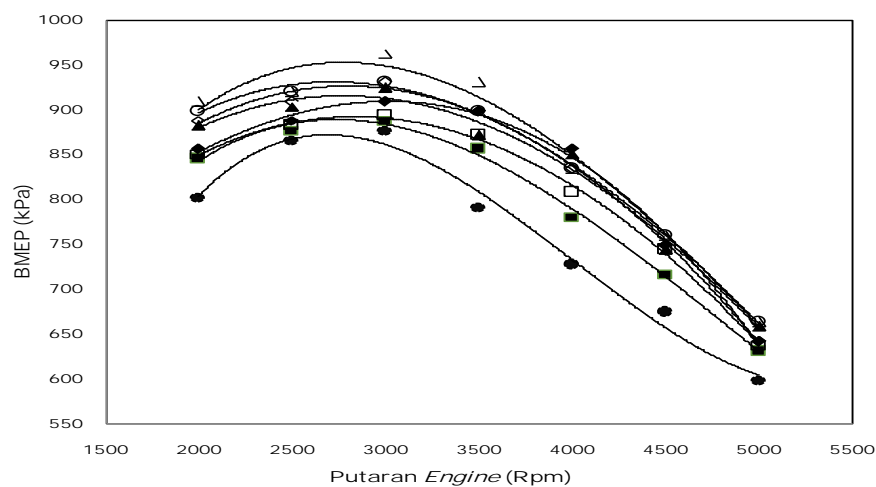


Gambar 2.19 Grafik daya (kW) terhadap putaran *engine* (rpm).
(Achmad Aminudin et. al, 2014)

Pada gambar 2.19 di atas dapat diketahui bahwa *trenline* grafik daya untuk pengujian premium dan CNG standar maupun CNG dengan variasi durasi injeksi terjadi peningkatan nilai daya pada putaran 2000 rpm sampai putaran 4500 rpm nilai daya *engine* (kW) cenderung naik namun pada putaran yang lebih tinggi daya *engine* kembali menurun. Dari tren grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa semakin meningkatnya putaran *engine*, jumlah campuran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan semakin meningkat pula. Dengan semakin banyaknya jumlah



campuran bahan bakar dan udara yang besar, maka energi atau kalor yang dapat dikonversi menjadi kerja akan semakin besar. Tetapi pada putaran *engine* yang lebih tinggi, *friction losses* yang terjadi cukup tinggi, sehingga sebagian daya digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut. Disamping itu, pada putaran yang lebih tinggi terjadi kenaikan temperatur yang signifikan sehingga efisiensi volumetrik *engine* cenderung menurun dan daya yang dihasilkan *engine* menjadi lebih rendah.

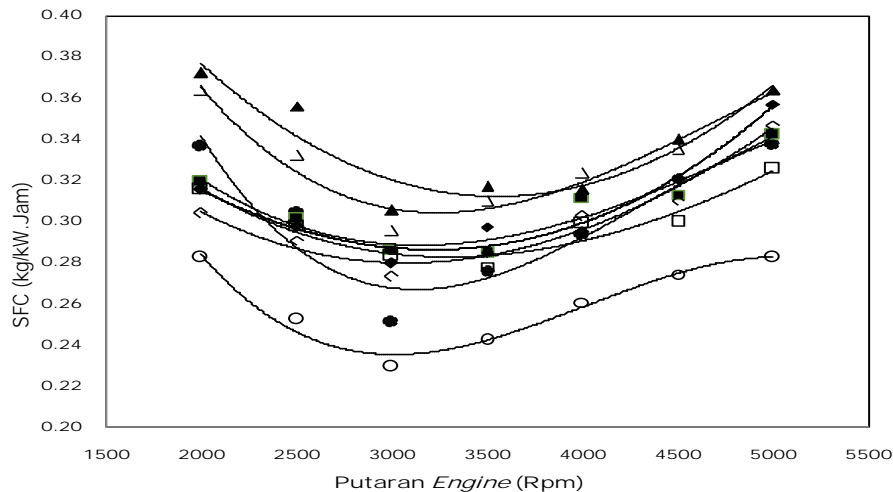


Gambar 2.20 Grafik *Bmep* (kPa) terhadap putaran *engine* (rpm).
(Achmad Aminudin et. al, 2014)

Pada gambar 2.20 di atas terlihat pada saat *engine* putaran 2000 rpm nilai *bmep* cenderung meningkat sampai nilai tertinggi pada putaran *engine* 3000 rpm, kemudian menurun sampai pada putaran *engine* tertinggi, yaitu 5000 rpm. Dari grafik *bmep* fungsi putaran di atas terlihat adanya tren kenaikan *bmep* mulai dari *engine* putaran rendah hingga mencapai nilai *bmep* maksimum pada putaran tertentu kemudian *bmep* mengalami penurunan pada saat *engine* putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pada saat putaran *engine* masih rendah, jumlah campuran yang masuk ke ruang bakar juga rendah sehingga *energy input* yang dapat dikonversi menjadi kerja juga lebih sedikit. Disamping itu, tingkat turbulensi aliran campuran juga rendah sehingga perambatan nyala api tidak begitu baik. Semakin meningkatnya putaran *engine*, maka jumlah campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran campuran juga lebih besar sehingga proses pembakaran dapat berlangsung lebih sempurna dan tekanan



didalam silinder yang dihasilkan menjadi lebih besar. Namun, pada saat putaran *engine* tinggi kerugian akibat gesekan (*friction loss*) dan adanya kenaikan temperatur *engine* yang cukup signifikan menyebabkan tekanan efektif rata-rata kembali mengalami penurunan.



Gambar 2.21 Grafik Sfc terhadap putaran *engine* (rpm).
(Achmad Aminudin et. al, 2014)

Pada gambar 2.21 di atas terlihat nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) pada grafik di atas, maka dapat diketahui bahwa kebutuhan bahan bakar saat *engine* dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar CNG membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih besar dibandingkan dengan saat dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar premium. Pada saat *engine* dioperasikan menggunakan bahan bakar CNG standar tanpa melakukan *setting* durasi injeksi nilai konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 0,29 kg/kW.jam sedangkan saat menggunakan premium sebesar 0,26 kg /kW.jam atau 15 % lebih besar dibandingkan saat *engine* menggunakan bahan bakar premium.

Ketika *engine* beroperasi pada semua durasi injeksi maka terjadi kenaikan nilai konsumsi bahan bakar jika dibandingkan *engine* menggunakan bahan bakar premium. Pada durasi injeksi 5,9 ms, 6,5 ms, dan 7,5 ms kenaikan nilai rata-rata konsumsi bahan bakar naik sebesar 9,4 %, 18,5 % dan 29,9 %. Dari hasil tersebut terlihat bahwa konsumsi bahan bakar CNG akan semakin naik seiring dengan naiknya pengaturan durasi injeksi pada *engine*.



Sedangkan pada pengujian *engine* saat beroperasi dengan variasi durasi dengan menambahkan pasokan udara *melalui* blower pada saluran *intake manifold*, terjadi kenaikan nilai konsumsi bahan bakar jika dibandingkan saat *engine* menggunakan bahan bakar premium tetapi nilai kenaikannya tidak sebesar ketika *engine* beroperasi tanpa menggunakan *blower*. Saat durasi injeksi 5,9 ms, 6,5 ms, dan 7,5 ms nilai rata-rata konsumsi bahan bakar naik sebesar 4,01 %, 15,7 %, dan 27,3 %. Dari hasil tersebut terdapat tren kenaikan yang sama saat *engine* beroperasi tanpa menggunakan *blower*, bahwa konsumsi bahan bakar CNG akan semakin naik seiring dengan naiknya *settingan* durasi injeksi pada *engine*. Secara rata-rata pada setiap pengaturan durasi injeksi, nilai konsumsi bahan bakar spesifik pada saat *engine* ditambahkan suplai udara menggunakan *blower* lebih kecil dibandingkan dengan saat tidak menggunakan *blower*. Kejadian ini disebabkan karena saat *engine* ditambahkan suplai udara menggunakan *blower* terjadi kenaikan nilai efisiensi volumetrik, yang menyebabkan konsumsi bahan bakar sedikit berkurang.



Halaman ini sengaja dikosongkan



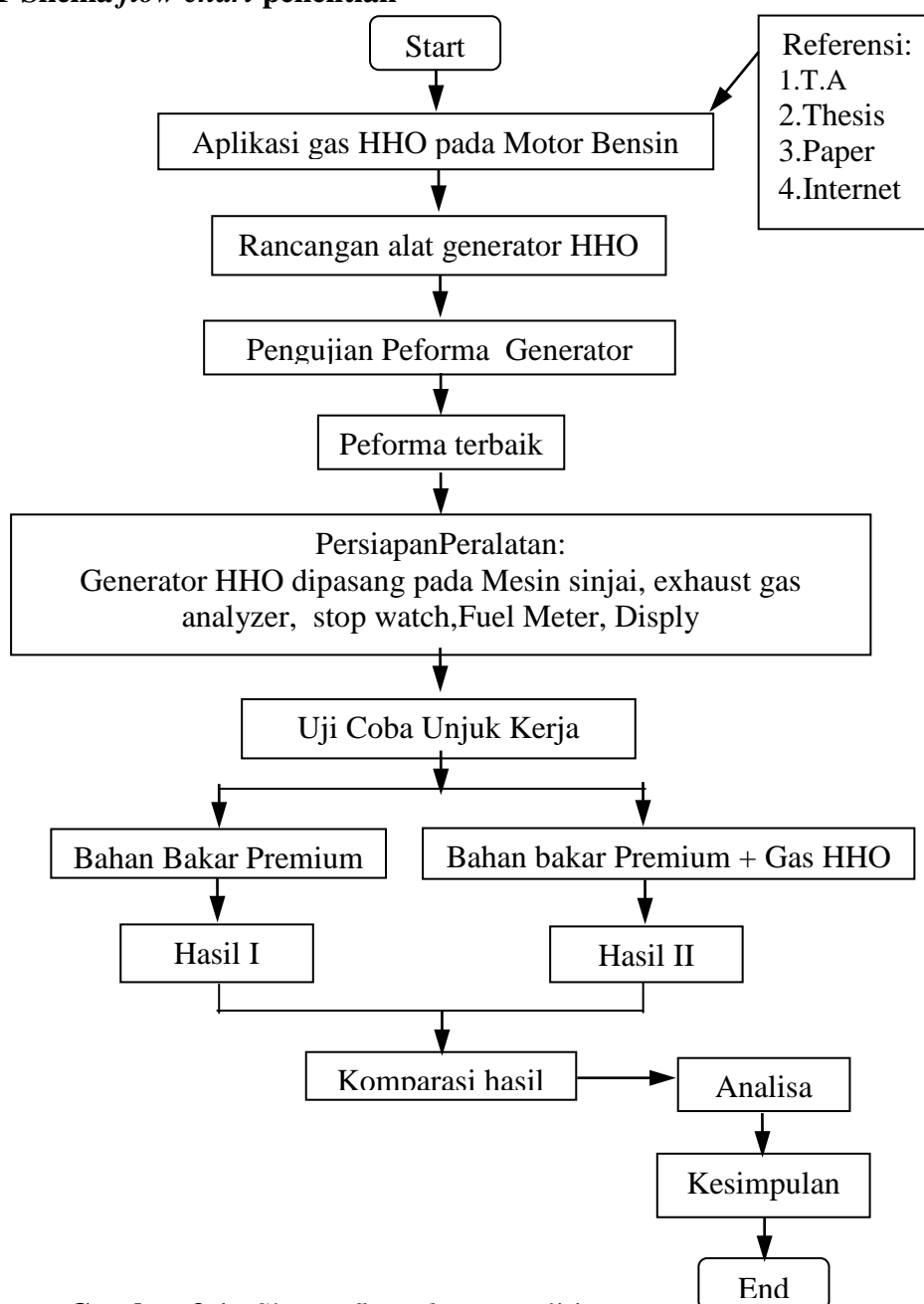
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan/Skema Penyelesaian Penelitian (Flow chart)

Rancangan dan penelitian eksperimen ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.1.1 Skema *flow chart* penelitian

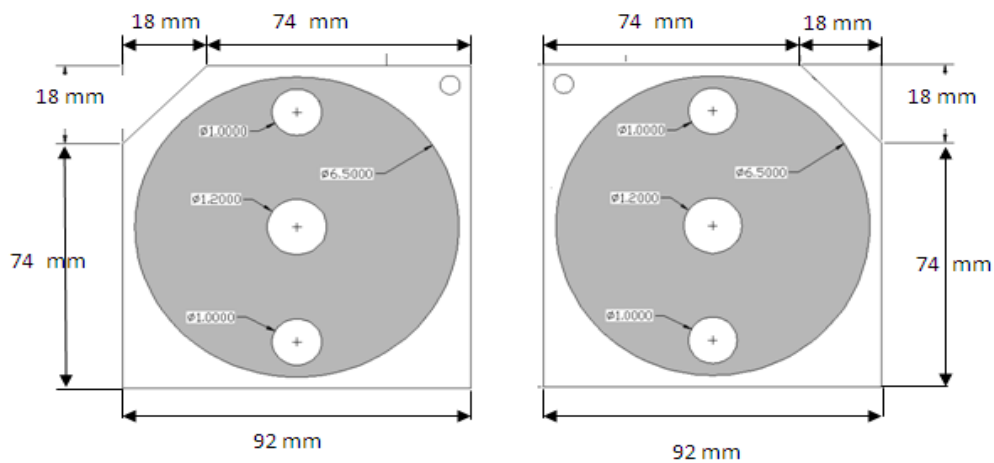


Gambar.3.1 Skema *flow chart* penelitian



3.1.2 Rancangan Generator HHO *type dry* uk 92 mm x 92 mm

1. Persiapan bahan utama generator HHO *type dry*
 - a. Plat stainlis stell
 - b. Akreling
 - c. Seal
2. Tentukan ukuran plat katoda, anoda dan plat netral 92 mm x 92 mm
3. Lubangi bagian atas dan bawah plat dalam seal Ø 10 mm x Ø 10 mm
4. Lubangi bagian tengah plat dengan Ø 12 mm.
5. Potong bagian sisi kiri atas sebagai plat anoda, lubang sisi kanan yang tidak dipotong sebesar Ø 6 mm sebagai tempat masuknya baut untuk mengalirkan arus positif dari baterai. Selanjutnya potong bagian sisi kanan atas sebagai plat katoda, lubang sisi kiri yang tidak dipotong sebesar Ø 6 mm sebagai tempat masuknya baut untuk mengalirkan arus negatif dari baterai. Seperti gambar 3.2 dibawah ini :

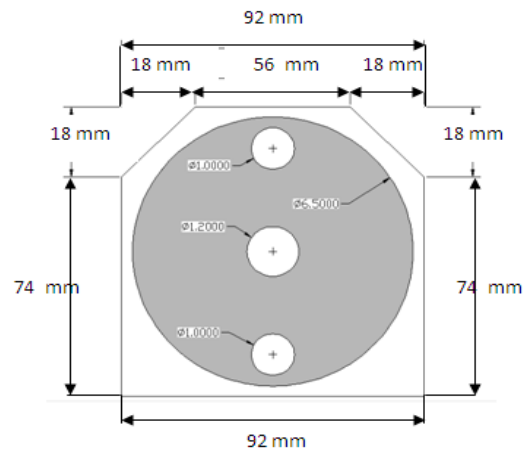


Gambar 3.2 Ukuran Plat Anoda dan Katoda

a. Plat Anoda

b. Plat Katoda

6. Ukuran plat dan besarnya lubang pada plat netral sama dengan plat anoda dan katoda, yang membedakan plat netral adalah pada bagian atas plat sisi kiri dan kanannya di potong. Pemotongan kedua sisi bertujuan agar tidak terjadi adanya hubungan langsung plat netral dengan plat anoda dan katoda. Seperti pada gambar 3.3 berikut :



Gambar 3.3 Ukuran Plat Netral

3.1.3 Proses Pemasangan atau Perangkaian Generator HHO tipe *dry*.

1. Persiapkan alat dan bahan

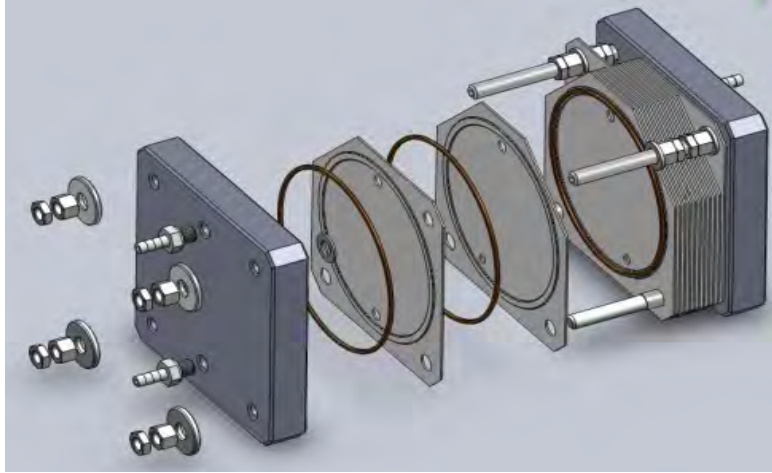
Tabel 3.1 Alat dan bahan generator HHO type *dry*

Alat		Bahan	
Jenis	Ukuran (mm)	Jenis	Ukuran (mm)
• Kunci ring pas	• 8, 10, 12 dan	• Plat stainless steel	• 92 x 92
• Obeng Minus	14	• anoda, katoda dan	• 92 x 92
• Palu karet		• netral	• Ø tebal sheel
• Mistar baja		• Akrilik	• Ø 63 dalam
		• Sheel (gasket)	• Ø 65 luar
		• Stuk	• Ø 6
		• Baut dan mur	• 8

2. Susun plat anoda pada akrilik, lubang sisi bagian atas di pasang baut dan ikat menggunakan mur, pasang sheel dengan memposisikan di atas plat anoda selanjutnya pasang 5 plat netral, masing-masing plat dibatasi dengan sheel dan di lanjutkan pemasangan plat katoda dengan memasukan lubang baut pada sisi yang berlawanan dengan plat anoda. (terpasang 1 cell)
3. Untuk cell ke 2 sampai cell ke 6 lakukan hal yang sama seperti diatas
4. Kencangkan mur 12 pada sisi luar akrilik



5. Ukur panjang generator agar tekanan pada generator rata
6. Perhatikan gambar 3.4 dibawah ini :



Gambar 3.4 Cara pemasangan generator HHO

3.2 Peralatan dan Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat ukur dan alat uji yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian

3.2.1 Engine

Mesin Sinjai pada percobaan ini seperti diperlihatkan gambar 3.5 dibawah ini



Gambar.3.5 Pengujian generator HHO Pada Mesin Sinjai



Mesin bensin 4 (empat) langkah *single cylinder* dengan spesifikasi :

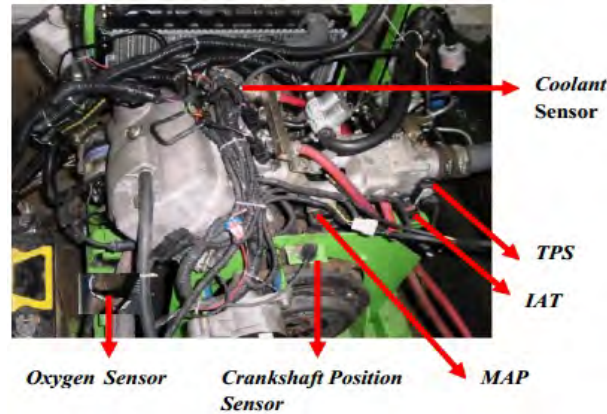
- Merek : LJ276MT-2
- Model : LJ276M/LJ276MT-2
- Jumlah Silinder : 2 silinder
- Kapasitas : 647 cc
- Pendinginan mesin : Radiator (Pendingin Air)
- Diameter x langkah (mm) : 67 x 71 mm
- Rasio kompresi : 9,0 : 1
- Daya maksimum : 20.6 KW pada 4500rpm
- Torsi maksimum : 49 N.m pada 2700~3300 rpm
- Kecepatan idle : 900±50r/min
- Volume langkah : 0,28 liter
- Arah putaran : CCW
- *Valve timing*
 - *Intake valve* membuka : 23° BTDC
 - *Intake valve* menutup : 53° ABDC
 - *Exhaust valve* membuka : 53° BBDC
 - *Exhaust valve* menutup : 23° ATDC

3.2.2 Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi elektronik atau *electronic fuel injection* (EFI) adalah sistem injeksi bahan bakar yang *volume* dan waktu penyemprotannya terkontrol secara elektronik. Sistem EFI pada mesin multi silinder dikenal dengan istilah *sequential multiport injection* dimana proses injeksi bahan bakar ke ruang bakar dilakukan hanya pada saat langkah hisap pada masing-masing silinder. *Sequential multiport injection* memiliki beberapa kelebihan yaitu jumlah bahan bakar yang masuk kedalam tiap-tiap silinder lebih tepat, *low fuel consumption*, distribusi campuran lebih homogen, reaksi pembakaran terjadi secara spontan terhadap perubahan beban, emisi lebih ramah lingkungan dan *high performance*. Oleh karena itu, pada saat ini sistem *sequential multiport injection* lebih banyak diaplikasikan pada sebagian besar pabrikan engine yang menggunakan bahan bakar bensin.



Berikut ini adalah sistem injeksi bahan bakar bensin pada mesin sinjai. Pada gambar 3.6 di bawah ini terlihat posisi sensor-sensor yang digunakan pada mesin Sinjai.



Gambar 3.6. Lokasi sensor *engine* sinjai
(Achmad Aminudin et. al, 2014)

Adapun fungsi dari sensor-sensor tersebut adalah sebagai berikut:

1. Throttle Position Sensor (TPS)

Sensor yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan dari katup pada *Throttle body*.

2. Sensor Oksigen

Sensor oksigen berfungsi untuk mendeteksi perubahan kadar oksigen pada gas buang dan diletakkan pada knalpot. Jika kadar oksigen yang dihasilkan lebih banyak maka campuran bahan bakar dengan udara adalah campuran miskin dan jika kadar oksigen yang dihasilkan lebih sedikit maka campuran bahan bakar dengan udara adalah campuran kaya.

3. Crankshaft Position Sensor

Crankshaft sensor merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi kecepatan poros engkol pada mesin.

4. Air Flow Sensor

Sensor ini digunakan untuk membaca jumlah udara yang masuk ke dalam silinder pada saat langkah hisap *engine*.



5. *Intake Air Temperature Sensor*

Sensor ini digunakan untuk mendeteksi atau mengukur temperatur udara yang masuk ke *engine*.

6. *Engine Coolant Temperture Sensor (ECT)*

ECT sensor akan merespon perubahan temperatur pendinginan mesin. Sensor ini biasanya terletak di bagian pendinginan *engine* sebelum termostat dan terhubung dengan terminal THW pada *engine control modulation* (ECM) yang ada pada *electronic control unit*.

3.2.3 Exhaust Gas Analizer

Alat ini digunakan untuk mengukur kadar emisi gas buang, meliputi : CO, HC, CO₂, NO_x, dan O₂ Seperti terlihat pada gambar 3.7 dibawah ini

- Merk : Stargas 898
- *Measurement Range* : CO: 0-15% Vol, CO₂ : 0-20% Vol, HC: 0-30.000 ppm Vol, O₂ : 0-25% Vol, NO_x: 0-5000 ppm Vol.
- Berat : 7.5 Kg
- Temperatur Kerja : 40-45 degree Celcius
- Dimensi : 470x230x220mm



Gambar .3.7 *Exhaust Gas Analizer*

3.2.4 Waterbrake Dynamometer

Alat ini diperlihatkan. Seperti terlihat pada gambar 3.8 dibawah ini

- Merk : DYNomite
- Ukuran : 9" single rotor absorber
- Kebutuhan air : Minimum 1 G.P.M.
- Tekanan air : Minimum 8 Psi
- Kemampuan : Pengukuran sampai ± 120 HP

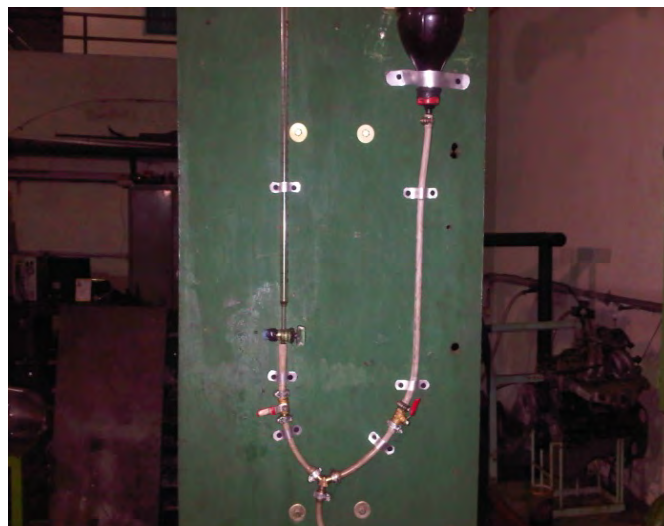


Gambar .3.8 Waterbrake Dynamometer

3.2.5 Tabung ukur konsumsi bahan bakar

Alat ini berfungsi untuk mengukur volume bahan bakar yang digunakan dalam pengujian. Tabung ukur memiliki beberapa pilihan berdasarkan skala volumenya. Berikut spesifikasi alat ukur ini. Alat ini seperti terlihat pada gambar 3.9 dibawah ini :

- Merek : IWAKI pyrex
- Kapasitas : 25ml
- Akurasi : 0,03 ml



Gambar 3.9 Iwaki Pyrex



3.2.6 Stop Watch

Stop watch berfungsi untuk mengukur lamanya waktu yang diperlukan dalam suatu kegiatan, misalnya berapa lama seorang perenang mencapai jarak 100 meter, atau berapa lama seorang pelari mencapai jarak 1 km, dsb. Dalam penelitian ini, stop watch digunakan untuk mengukur berapa lamanya waktu yang dibutuhkan oleh mesin untuk mengkonsumsi 25 ml bahan bakar biodiesel B-20. Alat ini seperti terlihat pada gambar 3.9 :

- Merk : Casio
- Tipe : HS-3
- Akurasi : 0.01 detik



Gambar 3.10 casio stopwatch

3.2.7 Bubbler dan Water Trap

Karena mudahnya gas H_2 terbakar (kecepatan pembakaran gas $H_2 = 8,7-10,7$ ft/s (2,65-3,25 m/s)*), maka perlu dijaga agar GGH tidak terbakar/meledak bila ada api, baik api baru maupun back fire. Dengan demikian dibuatkan suatu alat (device) yang dapat mengamankan GGH. Untuk itu diperlukan device bubbler, yang bila api kembali ke arah GGH dicegah dan hanya meletupkan bubbler. Selain bubbler juga mempunyai fungsi ganda yakni menangkap vapor dari cairan elektrolit agar tidak masuk pada peralatan berikutnya. Penambahan water/vapor trap adalah untuk meyakinkan tidak ada vapor masuk pada peralatan (device) berikutnya yang mungkin dapat mengganggu kinerja.

* College of the Desert, 2001



Gambar 3.11 Bubbler dan Water Trap

3.2.8 Injektor Mesin Sinjai

Injektor Mesin Sinjai seperti diperlihatkan pada gambar 3.12 dibawah ini :



Gambar 3.12 Injektor Mesin Sinjai

3.3 Proses Eksperimen dan Penelitian

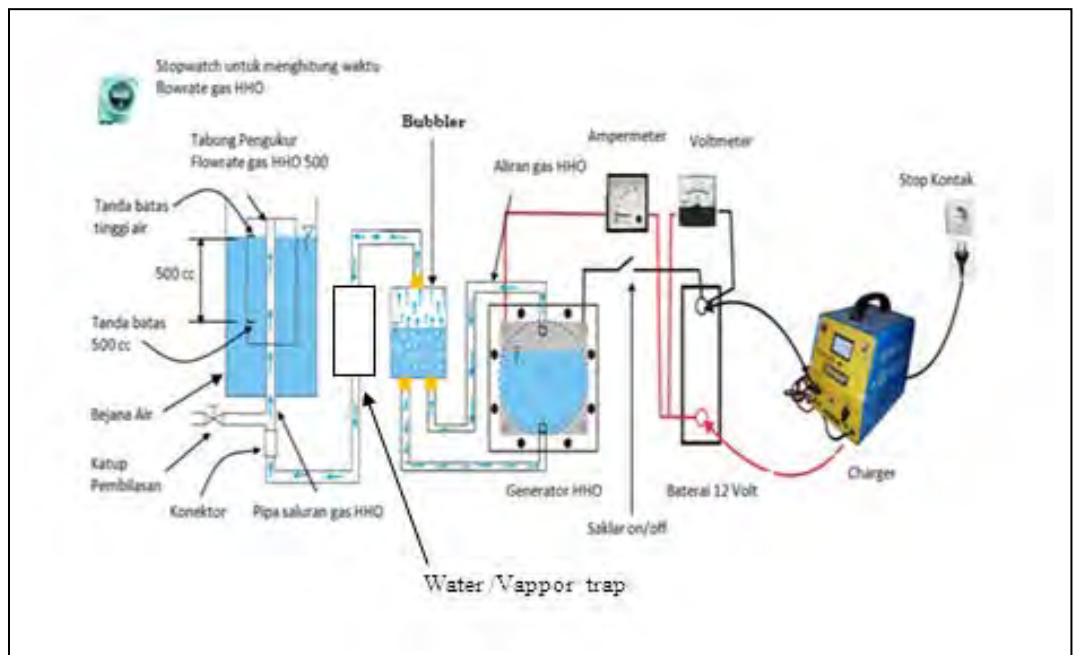
Sebelum generator HHO type dry 6 cell di uji cobakan pada mesin Sinjai terlebih dahulu generator HHO diuji cobakan pada laboratorium untuk mendapatkan performance generator HHO. Dari data penelitian ini peneliti akan



melakukan eksperimen penggunaan bahan bakar premium (bensin) + HHO kemudian dibandingkan dengan bahan bakar standar pada mesin bensin Merek Sinjai

3.3.1 Proses Eksperimen Generator HHO

Instrumen eksperimen adalah alat ukur dan alat uji yang digunakan untuk mendapatkan data peformance generator HHO



Gambar.3.13 Skema pengujian generator HHO

Langkah Persiapan Pengukuran Flowrate Generator HHO

Tahapan persiapan pengujian flowrate generator gas HHO adalah sbb:

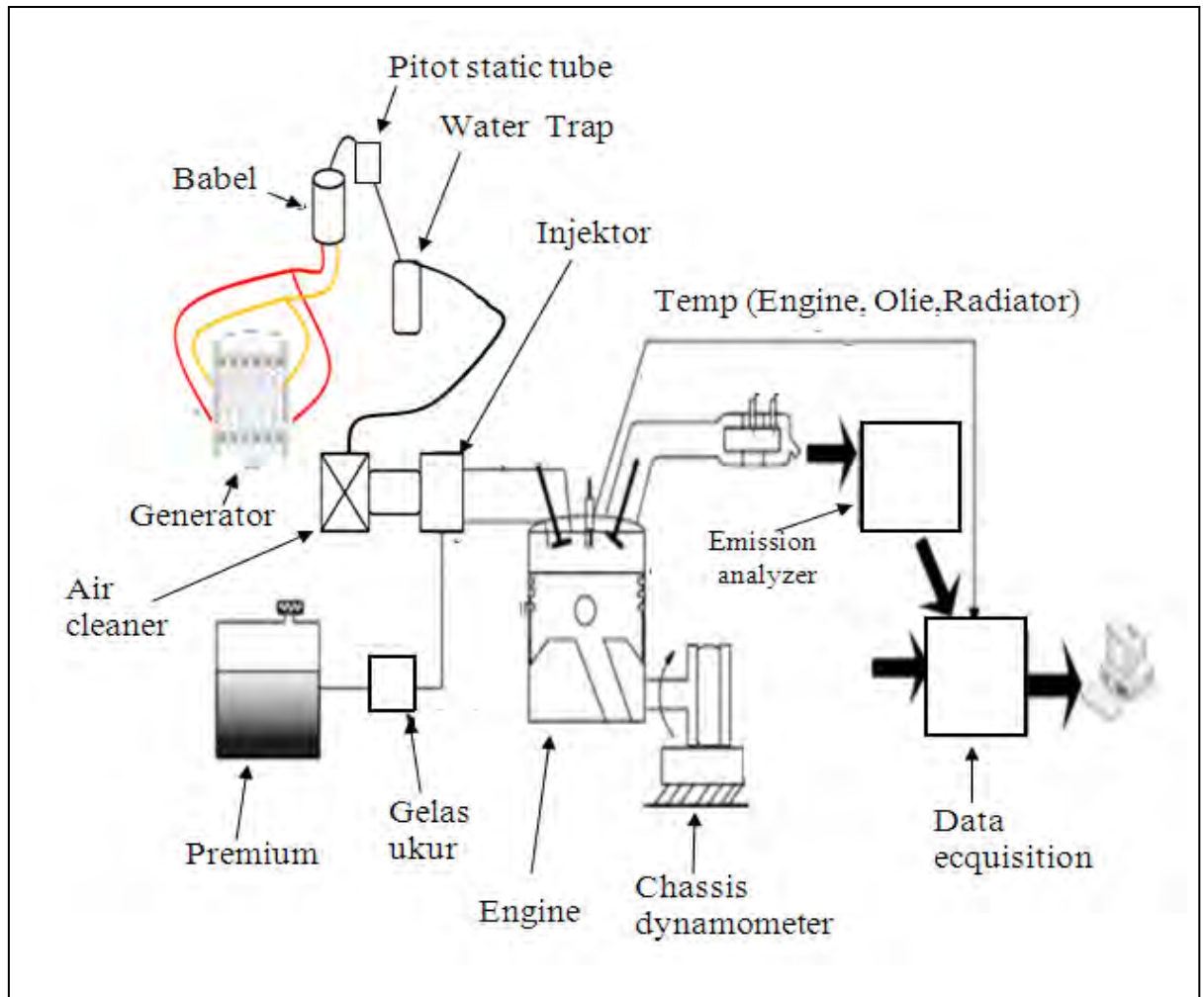
1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan.
2. Persiapkan dan pasangn rangkaian peralatan seperti pada Gambar 3.3
3. Siapkan campuran KOH dengan aquades atau larutan elektrolit. Dalam bentuk 0,5 liter aquades yang dicampur dengan 10 gram KOH. Kemudian isikan ke dalam Generator gas HHO.
4. Isikan air ke dalam *water trap*.
5. Sambungkan Generator gas HHO dan *bubbler* menggunakan selang gas HHO. Kemudian pastikan tidak ada sambungan yang bocor.



6. Pastikan alat pengukur arus, tegangan, dan termometer bekerja dengan baik.
7. Sambungkan *power supply* dari baterai ke generator HHO melalui kabel-kabel. Pastikan sambungan terminal positif dan terminal negatifnya sudah tepat.
8. Persiapkan Alat Ukur *Flowrate* Gas HHO.
 - a) Masukkan tabung pengukur 500 cc gas HHO ke dalam bejana air.
 - b) Isikan air ke dalam bejana sampai air sejajar dengan tanda batas tinggi air pada tabung pengukur *flowrate* gas HHO.
 - c) Untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam tabung pengukur dan *bubbler*, buka katup pembilasan udara yang berada dibawah tabung pengukur.
 - d) Kemudian tutup katup pembilasan udara setelah tabung pengukur menyentuh ujung pipa saluran gas HHO.
9. Sambungkan *bubbler* dan alat ukur *flowrate* gas HHO menggunakan selang plastik melalui konektor. Kemudian pastikan tidak ada sambungan yang bocor.
10. Untuk memastikan tidak ada udara yang terperangkap dalam sistem, maka dilakukan langkah pembilasan.
 - a) Langkah pembilasan dilakukan beberapa saat sebelum pengujian.
 - b) Untuk memulainya dengan menghidupkan sistem produksi gas HHO, dengan menekan saklar ON. Tunggu beberapa menit sampai tabung pengukur gas HHO mencapai skala volume produksi 500 cc, kemudian matikan sistem dengan menekan saklar OFF.
 - c) Buang campuran gas HHO dan udara dengan membuka katup pembilasan. Tutup kembali setelah ujung tabung pengukur menyentuh ujung pipa saluran gas HHO.
 - d) Ulangi langkah di atas sebanyak 3 kali, untuk memastikan tidak ada udara yang terperangkap di dalam sistem. Kemudian dilanjutkan ke tahap pengujian 6 shell.



3.3.2 Perencanaan Mixing Bahan Bakar Yang Digunakan Pada Mesin Sinjai



Gambar 3.14 Cara Pemasangan Alat Uji Generator HHO Pada Mesin Sinjai

1. Langkah Persiapan

Persiapan pengujian menggunakan penambahan generator gas HHO tipe dry melewati beberapa tahapan, diantaranya :

- 1) Siapkan peralatan yang dibutuhkan
- 2) Pasang slang sirkulasi air elektrolisasi pada babler
- 3) Pasang slang gas HHO pada *bubler* pada saluran in vakum
- 4) Pasang slang vakum pada saluran vakum intake manipol
- 5) Pasang slang gas HHO saluran out vakum ke intake manipol mesin sinjai yang akan diuji



- 6) Lakukan perangkaian kabel, hubungkan kabel saklar generator HHO pada rangkaian kutup positif aki yang melewati kunci kontak. Ini bertujuan untuk *safety* pada generator HHO agar tetap terkontrol dalam *ON OF* generator.
- 7) Hubungkan terminal negative generator HHO ke masa atau bodi pada mesin sinjai.
- 8) Hidupkan mesin sinjai dan *ON* kan saklar generator HHO, gas HHO siap jadi bahan bakar tambahan.

2. Langkah Pengujian

- 1) Menghidupkan *engine* pada putaran *idle* (900 ± 50 rpm) selama ± 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state* atau stasioner.
- 2) Membuka katub kupu-kupu hingga terbuka penuh (*full open throttle*). Pada kondisi ini putaran *engine* mencapai putaran maksimum (± 5500 rpm). Dalam kondisi putaran maksimum ini, beban air belum dialirkan ke *power absorber*.
- 3) Selanjutnya mengalirkan beban air ke *power absorber* sehingga putaran mesin akan turun menjadi 5000 rpm. Jika putaran mesin sudah stabil maka dilakukan pencatatan data berupa: torsi *engine* dengan melihat hasil pada *display* alat ukur, data emisi dapat dilakukan (HC dan CO) dengan melihat data yang tampil pada layar *exhaust gas analyzer*, dan temperatur (gas buang, blok silinder *engine*, oli pelumas dan air pendingin) dapat dibaca pada *thermocouple* digital.
- 4) Apabila pengambilan data pada putaran 5000 rpm tersebut selesai, maka beban air yang dialirkan ke *power absorber* ditambah sehingga putaran *engine* menjadi turun. Putaran *engine* diturunkan secara bertahap, yaitu pada: 4500 rpm, 4000 rpm, 3500 rpm, 3000 rpm, 2500 rpm sampai 2000 rpm dengan cara mengontrol aliran air yang melewati *power absorber* tersebut.



- 5) Dengan cara yang sama seperti pengambilan data pada 5000 rpm, maka akan didapat data berupa torsi, emisi gas buang dan temperatur (gas buang, blok silinder *engine*, oli pelumas dan air pendingin) pada putaran 4500 rpm, 4000 rpm, 3500 rpm, 3000 rpm, 2500 rpm dan 2000 rpm. Pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.

3.3.3 Metode Dan Parameter Yang diukur

Pada penelitian ini ditetapkan beberapa parameter input dan output sehingga hasil dari penelitian diharapkan sesuai dengan yang diharapkan. Adapun beberapa rancangan metode dan parameter yang diukur akan disajikan dalam tabel berikut

Tabel 3.2. Rancangan Parameter Yang Diukur

Parameter Input	Parameter Output	
Konstan	Diukur	Dihitung
<ul style="list-style-type: none">• Bahan Bakar Bensin Pada putaran 5000, 4500, 4000, 3500, 3000, 2500, 2000• Bahan Bakar Bensin + HHO Pada putaran 5000, 4500, 4000, 3500, 3000, 2500, 2000	<ul style="list-style-type: none">• Torsi(Nm)• Daya (Kw)• Emisi Gas CO, CO₂, HC• Temperatur Engine (°C)• Temperatur Oli (°C)• Temperatur Exhaust (°C)• Temperatur Radiator (°C)	<ul style="list-style-type: none">• BMEP (KPa)• Efisiensi thermal• SFC

Dari penelitian tersebut maka nantinya dapat diperoleh grafik antara lain:

- a. Grafik antara putaran mesin dengan torsi
- b. Grafik antara putaran mesin dengan daya
- c. Grafik antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)
- d. Grafik antara putaran mesin dengan efisiensi thermal
- e. Grafik antara putaran mesin dengan emisi CO
- f. Grafik antara putaran mesin dengan emisi CO₂
- g. Grafik antara putaran mesin dengan emisi HC
- h. Grafik antara putaran mesin dengan emisi O₂



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 4

HASIL DAN ANALISIS DATA

4.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian dan contoh perhitungan untuk kelompok kontrol dan kelompok uji generator HHO serta pengujian aplikasi pada mesin Sinjai disajikan dalam bentuk tabel dan grafik pada lampiran.

4.1.1 Perhitungan Peforma Generator HHO

Data Pengujian :

- Tegangan Listrik Pada Generator listrik = 12,2 V
- Arus Listrik Pada Generator HHO = 11,57 A
- Waktu Produksi Gas HHO = 72 detik
- Volume Gas Terukur = 500 cc

Properties HHO :

- Massa Jenis Gas HHO = 0.4911167 kg/m^3
- Tekanan Gas HHO = 1 atm
- Konstanta Gas Universal (\bar{R}) = $0,08206 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}}$ (Chang,2004)
- Nilai energi entalphi (h) ialah energi yang dibutuhkan untuk menguraikan gas H_2O menjadi H_2 dan O_2 pada kondisi gas ideal, STP :
 $\Delta h = + 285,84 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$ (chem-is-try.org) Reaksi endoterm yang menghasilkan energy entalphi yang bernilai positif (+).

A. Daya Generator

Rumus untuk menghitung konsumsi daya listrik yang digunakan oleh generator gas HHO adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 12,2 \text{ V} \times 11,57 \text{ A} \\ &= 141,15 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi daya yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO sebanyak 500 cc adalah 141,15 Watt.



B. Laju Produksi gas HHO

Laju produksi gas HHO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = Q \times \rho_{\text{HHO}}$$

Dimana:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{72} = 6,94 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{detik}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= Q \times \rho_{\text{HHO}} \\ &= 6,94 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{detik} \times 0.491167 \text{ kg/m}^3 \\ &= 3,41 \times 10^{-9} \text{ kg/detik}\end{aligned}$$

C. Efisiensi Generator

Effisiensi Generator HHO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Energi yang digunakan untuk elektrolisa}}{\text{Energi yang dibutuhkan generator}} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta h \times \dot{n}}{(V \times I)} \times 100\%\end{aligned}$$

Dimana:

Δh = Energi entalphi yang dihasilkan (J/mol)

\dot{V} = Volume per detik (Liter/s)

\dot{n} = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Energi yang digunakan untuk elektrolisa (output)

$$\begin{aligned}\text{Daya (P)} &= V \times I \\ &= 12,2 \text{ V} \times 11,57 \text{ A} \\ &= 141,15 \text{ Watt} \\ &= 141,15 \text{ J/s}\end{aligned}$$



Energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO (input) Untuk mencari nilai \dot{n} , menggunakan rumus gas ideal:

$P \times \dot{V} = \dot{n} \times R \times T$ (Nilai volume dan mol adalah per satuan waktu untuk menyamakan energi yang digunakan per satuan waktu).

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L)

n = Molaritas senyawa (mol)

\bar{R} = Konstanta Gas universal (L.atm/mol.K)

T = Suhu, 298°K.

$$\dot{n} = \frac{P \times \dot{V}}{R \times T} = \frac{1 \text{ atm} \times \left(\frac{0.5 \text{ L}}{72 \text{ dtk}}\right)}{0,08206 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}} \times 298^\circ \text{ K}}$$

$$\dot{n} = 2,84 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

Sehingga energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO adalah:

$$\begin{aligned} \Delta h_f \times \dot{n} &= 285,84 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \times 2,84 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ &= 81,18 \frac{\text{J}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Maka, Efisiensi yang didapatkan :

$$\begin{aligned} \eta_{\text{Gen}} &= \frac{\Delta h_f \times \dot{n}}{(V \times I)} \times 100 \% \\ &= \frac{81,18 \text{ J/s}}{141,15 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 57,51 \% \end{aligned}$$

4.2 Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Sinjai

4.2.1 Perhitungan Daya/ Brake Horse Power (BHP)

Brake horse power merupakan daya yang dihasilkan dari poros *output engine* yang dihitung berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya. Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan:

$$bhp = \omega T = 2\pi nT \text{ (Watt)}$$



$$bhp = 2\pi nT \text{ (Watt)} / 1000 \text{ (kW)}$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

n = Putaran poros *waterbrake dynamometer* (rps)

1. Perhitungan Daya (BHP) pada *Engine* Berbahan Bakar Premium Standar

Data yang digunakan untuk menghitung daya saat menggunakan bahan bakar premium standar adalah sebagai berikut:

Putaran *engine* = 3000 rpm = 50 rps

Torsi = 46,39 N.m

Bhp = $2\pi n T \text{ (Watt)} / 1000 \text{ (kW)}$

Bhp = $2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ rps} \cdot 46,39 / 1000 \text{ (kW)}$

Bhp = 14,567 kW

2. Perhitungan Daya (BHP) pada *Engine* Berbahan Premium + HHO

Putaran *engine* = 3000 rpm = 50 rps

Torsi = 56,418 N.m

Bhp = $2\pi n T \text{ (Watt)} / 1000 \text{ (kW)}$

Bhp = $2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ rps} \cdot 56,418 / 1000 \text{ (kW)}$

Bhp = 17,715 kW

4.2.2 Perhitungan Sfc (*Specific fuel consumption*)

1. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) Premium Standar

Contoh perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) pada pemakaian bahan bakar premium standar adalah sebagai berikut:

Putaran mesin = 3000 rpm

Power = 14,567 kW

Waktu konsumsi bahan bakar (25 ml) = 29,73 detik

Density bahan bakar = 0,715 kg/l

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut:



$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} = \frac{\rho_f \cdot Q}{P} = \frac{\rho_f \cdot V}{P \cdot S} \quad 4.1$$

\dot{m}_f merupakan *flow rate* dari bahan bakar dan P merupakan daya *engine* yang dihasilkan. *Flow rate* (\dot{m}_f) bisa dicari dengan mengalikan *density* bahan bakar (ρ_f) dengan Q. Q merupakan debit pemakaian bahan bakar yang dicari dengan membagi sejumlah bahan bakar dalam *volume* tertentu dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut. Dalam hal ini *volume* (V) bahan bakar sejumlah 25 ml membutuhkan waktu 29,73 detik (s) untuk dipakai. *Density* premium (ρ_f) adalah 0,715 kg/l, sehingga:

$$Sfc = \frac{\rho_{premium} \cdot Volume}{waktu}$$

$$Sfc = \frac{SG_{premium} \cdot \rho_{air} \cdot Volume}{waktu \cdot P}$$

$$Sfc = \frac{0,715 \frac{kg}{m^3} \cdot 25 cm^3 \cdot \frac{1 m^3}{10^3 cm^3}}{29,73 s} \cdot \frac{1}{14,567 kW} \cdot \frac{3600 s}{1 jam}$$

$$Sfc = 0,149 \frac{kg}{kW \cdot jam}$$

2. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) Premium + HHO

Contoh perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) pada pemakaian bahan bakar premium + HHO adalah sebagai berikut:

Putaran mesin = 3000 rpm

Power = 17,715 kW

Waktu konsumsi bahan bakar (25 ml) = 35,06 detik

Density bahan bakar premium+ HHO = 0,715 kg/l + 0,00049kg/l=0,71549 kg/l

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} = \frac{\rho_f \cdot Q}{P} = \frac{\rho_f \cdot V}{P \cdot S} \quad 4.1$$



\dot{m}_f merupakan *flow rate* dari bahan bakar premium + HHO dan P merupakan daya *engine* yang dihasilkan. *Flow rate* (\dot{m}_f) bisa dicari dengan mengalikan *density* bahan bakar (ρ_f) dengan Q. Q merupakan debit pemakaian bahan bakar premium + HHO yang dicari dengan membagi sejumlah bahan bakar dalam *volume* tertentu dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut. Dalam hal ini *volume* (V) bahan bakar sejumlah 25 m l membutuhkan waktu 35,06 detik (s) untuk dipakai. *Density* premium (ρ_f)+HHO adalah 0,71549 kg/l, sehingga:

$$Sfc = \frac{\rho_{premium+HHO} \cdot Volume}{waktu}$$

$$Sfc = \frac{0,71549 \frac{kg}{m^3} \cdot 25cm^3 \cdot \frac{1m^3}{10^3 cm^3}}{35,06s} \cdot \frac{1}{17,715kW} \cdot \frac{3600s}{1jam}$$

$$Sfc = 0,104 \frac{kg}{kW \cdot jam}$$

4.2.3 Perhitungan *Brake Mean Efektif Pressure (Bmep)*

Proses pembakaran udara dengan bahan bakar akan menghasilkan tekanan yang bekerja pada torak sehingga menghasilkan langkah kerja. Besar tekanan tersebut berubah-ubah sepanjang langkah torak tersebut. Jika diambil suatu tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada torak dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut disebut dengan tekanan efektif rata-rata (*bmep*).

Tekanan efektif rata-rata (*brake mean efektif pressure*) dihitung dengan menggunakan persamaan 4.2 sebagai berikut:

$$bmep = \frac{b \cdot hp \cdot z}{A \cdot L \cdot n \cdot i} \quad 4.2$$

Untuk *engine* empat langkah, nilai z adalah 2.



1. Perhitungan *Brake Mean Efektif Pressure (Bmep)* pada *Engine* Berbahan Bakar Premium Standar

Data yang digunakan untuk menghitung *brake mean efektif pressure (bmep)* saat menggunakan bahan bakar premium standar adalah sebagai berikut :

Putaran <i>engine</i> (N)	= 3000 rpm
Daya	= 14.567 kW
Diameter piston (D)	= 76 mm
Panjang langkah piston (L)	= 71 mm
Volume langkah	= 644 cm ³
Jumlah silinder	= 2

Luasan piston (A) dicari dengan menggunakan persamaan 4.3 s ebagai berikut:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad 4.3$$

$$A = \frac{\pi}{4} 0,076^2 \text{ m}^2 = 4,534 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Volume langkah (Vd) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_d = A \cdot L = 4,534 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0,071 \text{ m} = 3,22 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Karena volume langkah sudah diketahui dari spesifikasi *engine* yaitu 644 cm³, maka persamaan 4.4 bisa diganti menjadi persamaan sebagaimana berikut:

$$bmep = \frac{bhp \cdot Z}{V_d \cdot n \cdot i} \quad 4.4$$

Sehingga tekanan efektif rata-rata (*bmep*) bisa dicari dengan rumusan sebagai berikut:

$$bmep = \frac{14,567 \text{ kW} \cdot 2}{3,22 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \left(\frac{3000}{60}\right) \text{ det}^{-1} \cdot 2}$$

$$bmep = \frac{14,567 \text{ kW} \cdot 2 \cdot 60 \text{ det}}{3,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 3000 \cdot 2}$$

$$bmep = 904,75 \text{ kPa}$$



2. Perhitungan *Brake Mean Efektif Pressure (Bmep)* pada *Engine* Berbahan Bakar Premium + HHO

Data yang digunakan untuk menghitung *brake mean efektif pressure (bmep)* saat menggunakan bahan bakar Premium + HHO adalah sebagai berikut:

Putaran <i>engine</i> (N)	= 3000 rpm
Daya	= 17,715 kW
Diameter piston (D)	= 76 mm
Panjang langkah piston (L)	= 71 mm
Volume langkah	= 644 cm ³
Jumlah silinder	= 2

Sehingga tekanan efektif rata-rata (*bmep*) dari penggunaan bahan bakar premium + HHO bisa dicari dengan rumusan seperti pada perhitungan saat *engine* menggunakan bahan bakar premium sebagai berikut:

$$bmep = \frac{17,715kW.2}{3,22.10^{-4}m^3.(\frac{3000}{60})det^{-1}.2}$$

$$bmep = \frac{17,715kW.2.60det}{3,22.10^{-4}m^3.3000.2}$$

$$bmep = 1100,32 \text{ kPa}$$

Hasil perhitungan tekanan efektif rata-rata (*bmep*) secara lengkap disajikan dalam bentuk tabel pada lampiran 2 dan digambarkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis.

4.2.4 Perhitungan Efisiensi *Thermal* (η_{th})

Efisiensi *thermal* (η_{th}) dicari dengan menggunakan persamaan 4.5 sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{mf} \cdot Q_{HV}} \quad 4.5$$

Karena *sfc* sudah diketahui, sedangkan untuk mencari *sfc* digunakan persamaan

berikut ini: $sfc = \frac{\dot{mf}}{\dot{W}}$



Sehingga persamaan 4.5 di atas dapat disubstitusikan menjadi persamaan 4.6 sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{1}{sfc \cdot Q_{HV}} \quad 4.6$$

Apabila sfc yang diketahui memiliki satuan kg/kW.jam maka persamaan 4.6 bisa diubah menjadi persamaan 4.7 sebagaimana berikut:

$$\eta_t = \frac{3600s / jam}{sfc \cdot Q_{HV}} \quad 4.7$$

1. Perhitungan Efisiensi *Thermal* (η_{th}) pada *Engine* Berbahan Bakar Premium Standar

Data yang digunakan untuk menghitung efisiensi *thermal* (η_{th}) saat menggunakan bahan bakar premium standar adalah sebagai berikut:

Putaran *engine* (N) = 3000 rpm

Sfc = 0,149 kg/kW.jam

Heating value dari premium = 43900 kJ/kg

sehingga:

$$\eta_t = \frac{3600s / Jam}{0,149kg / kW \cdot Jam \cdot 43900kJ / kg} \times 100\%$$

$$\eta_t = 0,5519$$

$$\eta_t = 55,19 \%$$

2. Perhitungan Efisiensi *Thermal* (η_{th}) pada *Engine* Berbahan Bakar Premium+HHO

Data yang digunakan untuk menghitung efisiensi *thermal* (η_{th}) saat menggunakan bahan bakar Premium + HHO adalah sebagai berikut:

Putaran *engine* (N) = 3000 rpm

Sfc = 0,104 kg/kW.jam

Heating value dari premium+HH = 43900 kJ/kg + 13322 kJ/kg = 57222 kJ/kg

sehingga:

$$\eta_t = \frac{3600s / Jam}{0,104kg / kW \cdot Jam \cdot 57222kJ / kg}$$

$$\eta_t = 0,6068$$



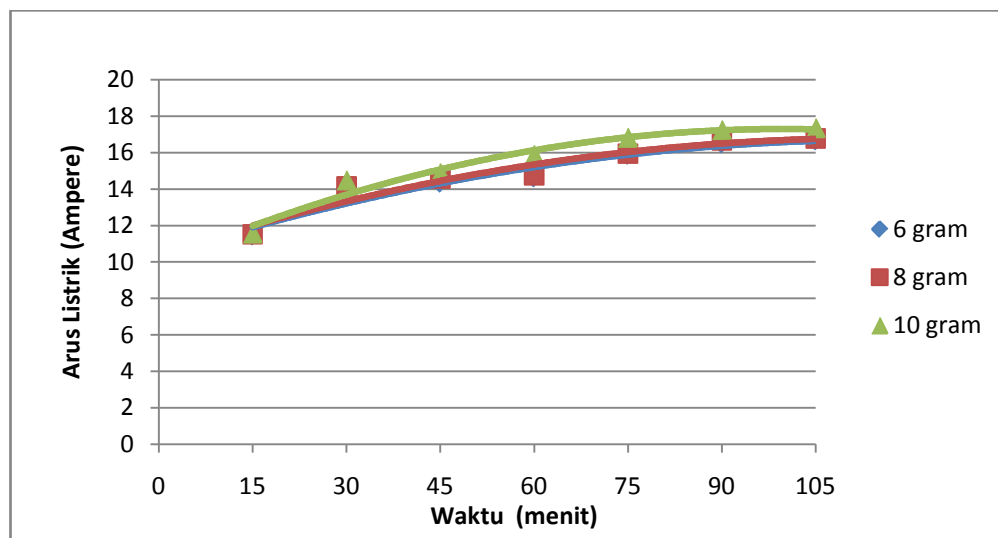
$$\eta_t = 60,68 \%$$

Hasil perhitungan efisiensi *thermal* (η_{th}) secara lengkap disajikan dalam bentuk tabel pada lampiran 2 dan digambarkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis.

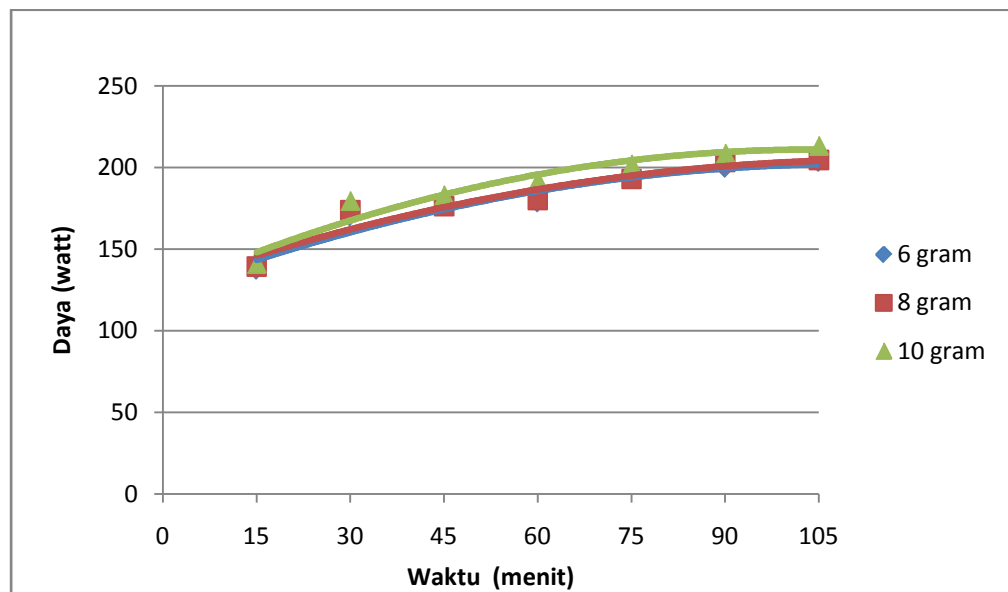
4.3 Analisis Performa Generator HHO tipe dry 6 Cell 5 Plat Netral

Pada sub bab ini akan ditampilkan grafik serta analisa dari data-data yang telah diambil pada generator HHO tipe dry 6 cell 5 plat netral pada laboratorium untuk memilih KOH 6 gram, 8 gram dan 10 gram sebelum di uji cobakan pada mesin Sinjai. Adapun yang akan dianalisa adalah parameter performa generator gas HHO seperti arus listrik, daya, temperatur, debit, laju produksi dan efisiensi terhadap waktu pengujian selama 105 menit selang waktu 15 menit dengan jumlah KOH yang berbeda-beda yaitu 6 gram, 8 gram dan 10 gram. Dari analisis performa generator HHO tipe dry 6 cell dan 5 plat netral 10 gram KOH per aquades 0,5 liter yang terbaik akan diuji cobakan pada mesin Sinjai. Pengujian pada Mesin Sinjai pengambilan data di mulai dengan waktu 15 menit dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det.

4.3.1 Arus Listrik, Daya dan Temperatur Terhadap Waktu Uji Generator gas HHO

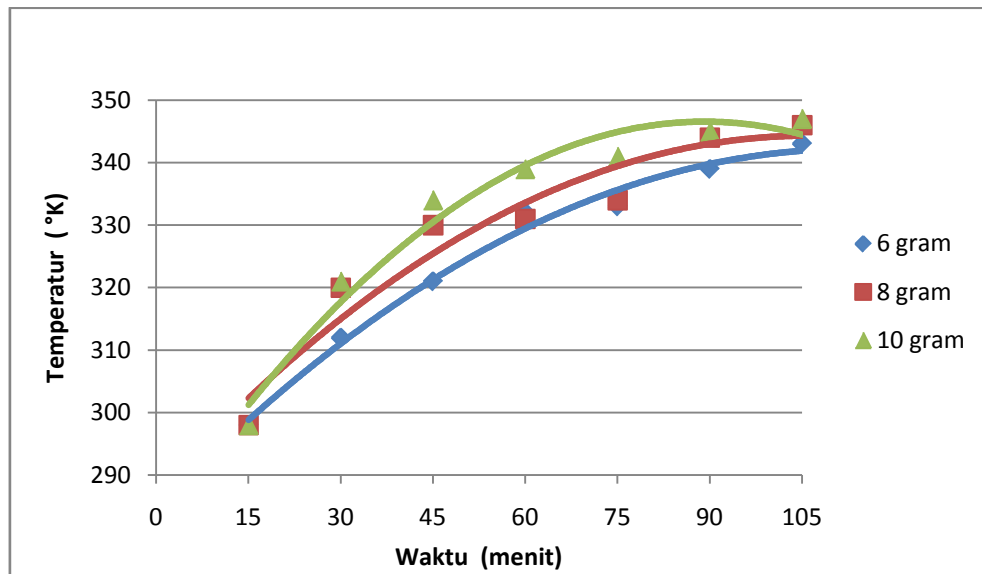


Gambar 4.1 Hubungan antara Arus Listrik(Ampere) dan waktu(menit) pada generator HHO.



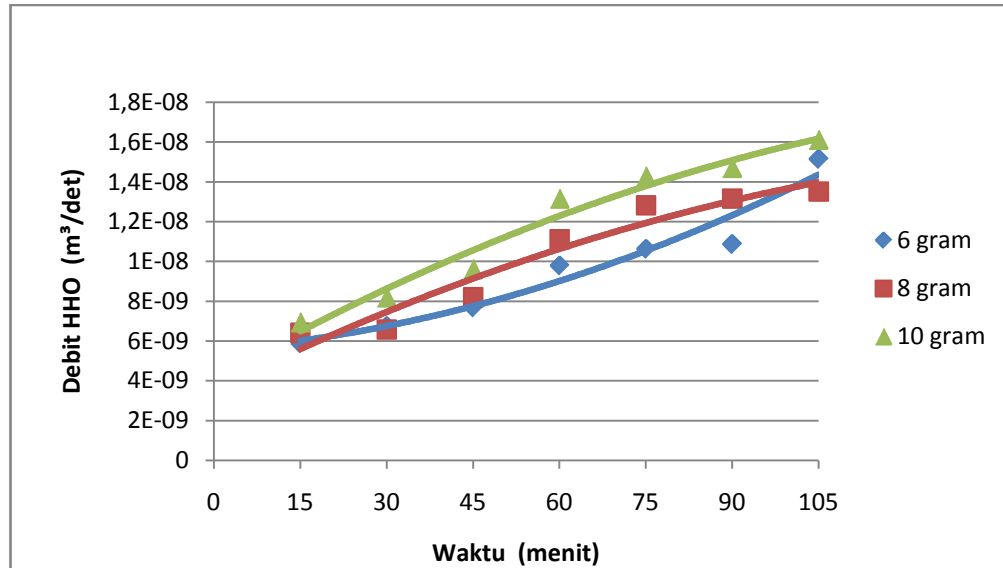
Gambar 4.2 Hubungan antara daya (watt) dan waktu (menit) pada generator HHO

Hasil uji generator pada Gambar 4.1 merupakan hasil pengujian pada generator 6 cell, 5 plat netral dilakukan selama 105 menit dengan selang waktu 15 menit dengan jumlah KOH yang berbeda 6 gram, 8 gram dan 10 gram seperti terlihat pada lampiran. Dari hasil uji terlihat adanya beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan besar arus listrik yaitu jumlah campuran larutan elektrolit (KOH), larutan elektrolit akan mempengaruhi besarnya energy yang dibutuhkan agar bisa terjadi reaksi kimia dalam larutan (*Svante Arrhenius, 1903*). Lautan elektrolit yang mengandung ion-ion (anion dan kation) berfungsi sebagai penghantar arus listrik, hal inilah yang mempengaruhi besarnya arus listrik. Efek dari arus listrik yang semakin besar menyebabkan pergerakan ion-ion tersebut akan semakin cepat. Peningkatan energi seperti terlihat pada gambar 4.2. Semakin cepat pergerakan ion-ion akan menimbulkan gesekan antara ion yang semakin besar sehingga temperature larutan semakin tinggi. Peningkatan temperatur diperlihatkan pada gambar 4.3.

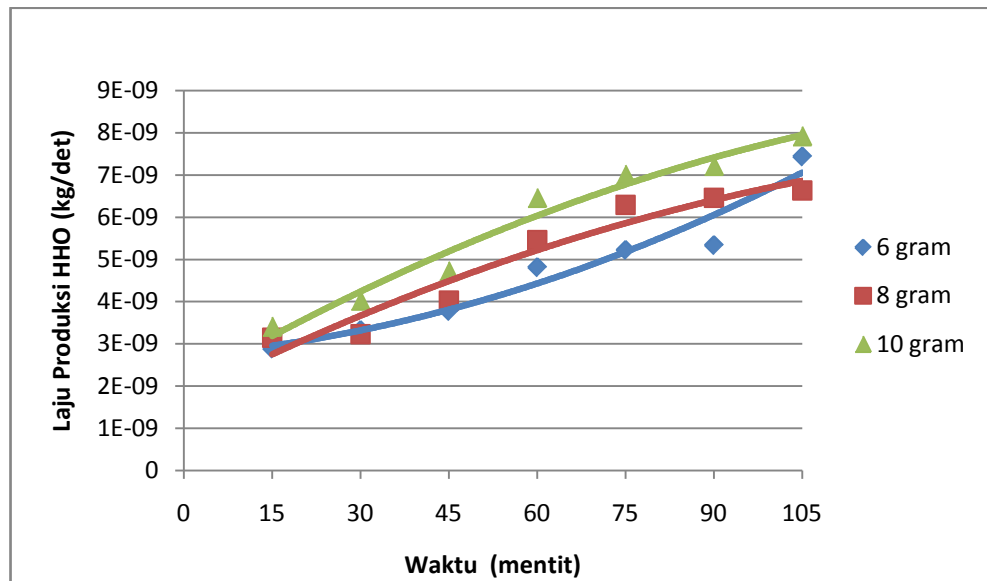


Gambar 4.3. Hubungan antara temperatur (°K) dan waktu (menit) pada generator HHO.

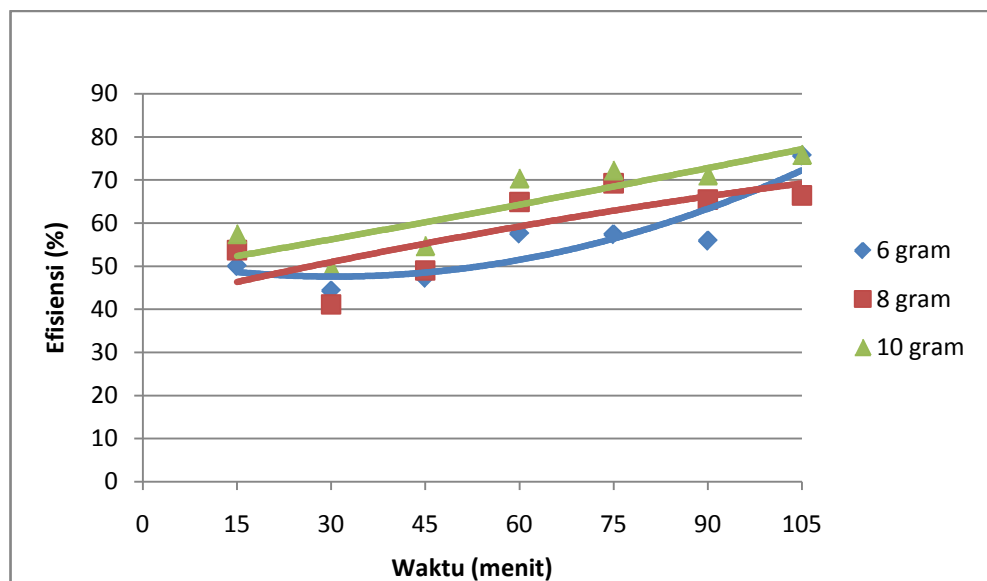
4.3.2 Debit, Waktu Produksi dan Efisiensi Terhadap Waktu Uji



Gambar 4.4. Hubungan antara Debit(m^3/det) dan waktu(menit) pada generator HHO



Gambar 4.5. Hubungan antara Laju Produksi (kg/det) dan waktu (menit) pada generator HHO



Gambar 4.6. Hubungan antara Efisiensi (%) dan waktu (menit) pada generator HHO

Waktu dan lama serta perlakuan pengambilan data hasil uji generator pada Gambar 4.4. diambil bersamaan dengan hasil uji arus listrik, tegangan dan temperatur pada generator HHO. Dari hasil data arus listrik, tegangan dan temperatur dihitung untuk mendapatkan hasil debit, waktu produksi dan efisiensi



generator HHO type dry kemudian ditabelkan untuk mendapatkan grafik dan analisis hasil pengujian. Dari hasil uji tersebut diperlihatkan pada gambar 4.4. gambar 4.5. dan gambar 4.6. Pada gambar tersebut diatas terlihat tren menggunakan KOH 10 gram menghasilkan debit, laju produksi dan efisiensi yang lebih besar dibandingkan menggunakan KOH 6 gram dan KOH 8 gram. Hal ini disebabkan efek dari arus listrik yang semakin besar sehingga pergerakan ion-ion tersebut akan semakin cepat. Semakin cepat pergerakan ion-ion akan menimbulkan gesekan antara ion yang semakin besar, sehingga temperature larutan semakin tinggi. Semakin lama suatu larutan bereaksi menyebabkan kondisi larutan akan semakin jenuh hal inilah yang menyebabkan peningkatan laju produksi lebih baik pada 10 gram KOH jika dibandingkan dengan 8 gram KOH dan 6 gram KOH. Besarnya suhu temperature pada generator juga akan mempengaruhi penghasilan gas HHO, jika temperatur semakin besar akan menyebabkan banyaknya energi yang keluar dengan demikian laju produksi dan efisiensi menggunakan KOH 10 gram yang lebih baik bila dibandingkan menggunakan KOH 8 gram dan KOH 6 gram. Dengan demikian dapat saya simpulkan menggunakan KOH 10 gram per 0,5 liter aquades yang paling baik diuji cobakan pada mesin Sinjai. Pengujian pada Mesin Sinjai pengambilan data di mulai dengan waktu 15 menit dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det.

4.4 Analisis Performe Mesin Sinjai

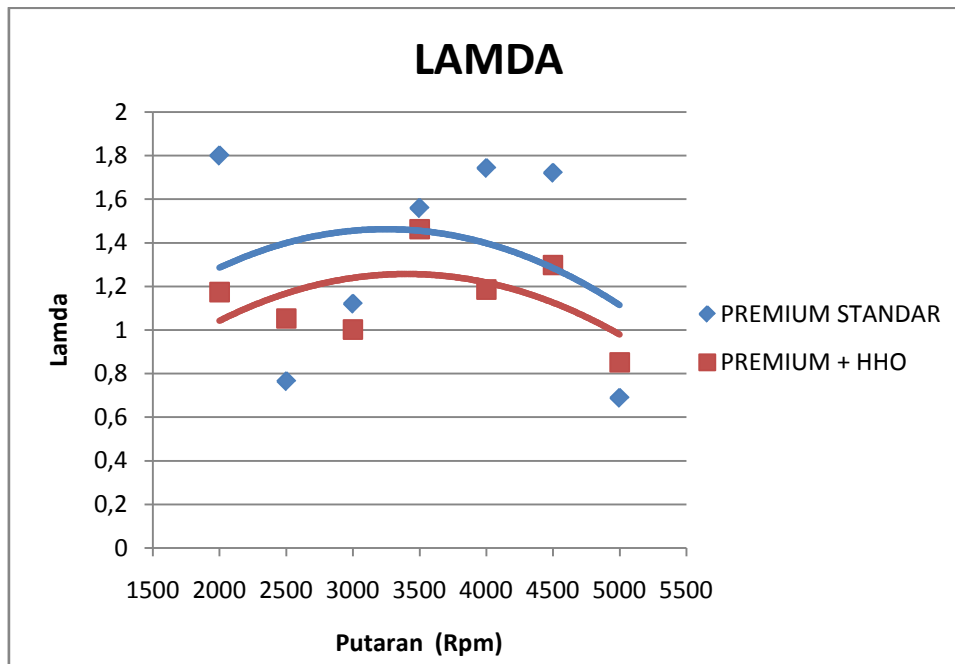
Analisis performe mesin Sinjai diambil pada data penelitian saat *engine* hidup dimulai dengan waktu 15 menit pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO. Pada data bahan bakar premium + HHO pada saat engine hidup dimulai dengan waktu 15 menit dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det menggunakan KOH 10 gram per 0,5 liter aquades . Analisis Peforme mesin Sinjai dimulai pada putaran 2000 rpm sampai dengan 5000 rpm.



4.4.1 Analisis Durasi Injeksi Pada Penggunaan Bahan Bakar Premium dengan Bahan Bakar Premium+HHO .

Durasi injeksi atau biasa dikenal dengan istilah *injection time*. Pengertian durasi injeksi pada sistem injeksi kendaraan bermotor adalah kemampuan atau waktu lamanya injektor membuka untuk menyembrotkan atau menginjeksikan bahan bakar ke dalam ruang bakar disetiap silinder saat akhir langkah kompresi (Mukhlis, M., 2010). Durasi injeksi pada bahan bakar Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades pada laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det dilakukan dengan tujuan didapatkan jumlah bahan bakar yang lebih tepat untuk diinputkan ke dalam ruang bakar mengingat *engine* yang digunakan pada penelitian ini adalah *engine* bahan bakar premium. Sehingga dalam pengaturan durasi injeksi penggunaan bahan bakar Premium+HHO KOH 10 gram per 0,5 liter aquades laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det kali ini sebisa mungkin disesuaikan dengan karakteristik yang dimiliki oleh bahan bakar premium tersebut.

Salah satu parameter yang dijadikan acuan dalam menentukan nilai durasi injeksi disini adalah *air fuel ratio* (AFR). *Air fuel ratio* (AFR) adalah faktor yang mempengaruhi kesempurnaan proses pembakaran di dalam ruang bakar. Lambda(λ) didefinisikan sebagai jumlah dari udara dibandingkan dengan jumlah bahan bakar secara aktual setiap silinder dibandingkan dengan secara *stoichiometric*. Lambda(λ) dapat digunakan untuk mewakili AFR. Dikatakan lambda (λ) < 1 dimana menunjukkan mesin tersebut mengandung lebih banyak bahan bakar (campuran kaya), akibatnya dari kondisi pembakaran tertentu dapat menghasilkan energi yang lebih besar dan *flame speed* yang terjadi lebih cepat. Dikatakan lambda (λ) = 1 dimana menunjukkan bahwa mesin berjalan dengan perbandingan udara dan bahan bakar pada kondisi stoikiometri. Sedangkan dikatakan lambda (λ) > 1 dimana menunjukkan mesin tersebut mengalami kelebihan udara/ kekurangan bahan bakar (campuran miskin), akibatnya dari pembakaran tersebut menghasilkan energi yang lebih rendah dan *flame speed* yang terjadi lebih rendah. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.7.



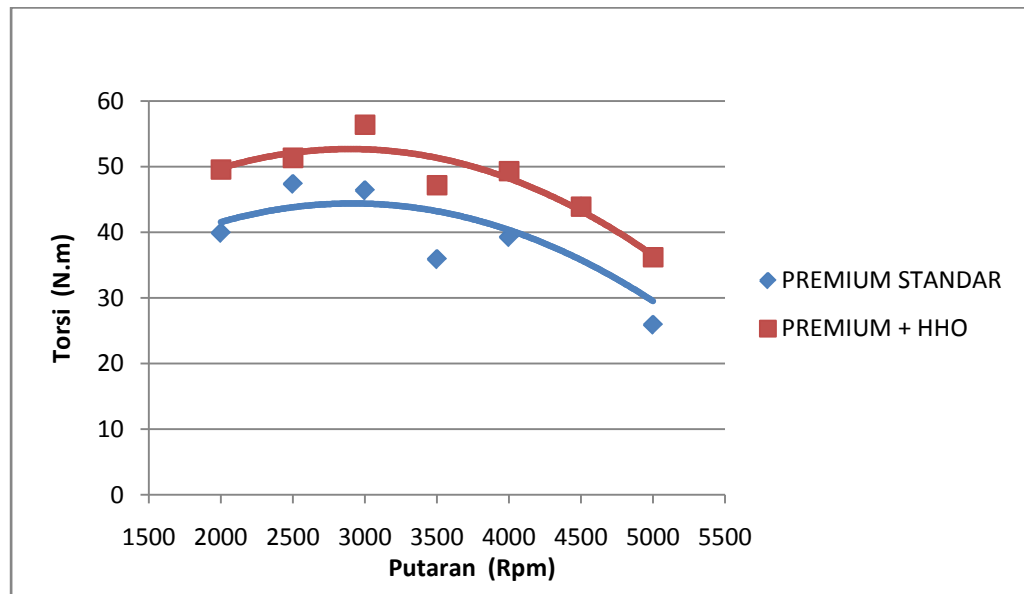
Gambar 4.7. Perbandingan lamda terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO

Gambar 4.7 di atas menunjukkan grafik Lamda terhadap putaran *engine* pada bahan bakar Premium dan bahan bakar Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 l iter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det. Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa secara *trendline* semua grafik tersebut mengalami kenaikan mulai *engine* pada putaran 2000 rpm kemudian mengalami kenaikan saat *engine* pada putaran 3000 rpm dan kemudian mengalami penurunan sampai *engine* pada putaran 5000 rpm, hal ini dikarenakan kenaikan beban dalam hal ini adalah torsi pada *engine* dapat menyebabkan naiknya durasi injeksi pada setiap pengaturan durasi injeksi pada penggunaan bahan bakar premium+HHO. Besarnya nilai durasi injeksi sangat ditentukan oleh pengaturan awal saat *engine* pada putaran stationer. Semakin tinggi nilai pengaturan awal durasi injeksi, maka semakin tinggi pula nilai durasi injeksi disetiap putaran *engine* jika dibandingkan dengan nilai pengaturan awal yang lebih rendah.



4.4.2 Analis Penggunaan Bahan Bakar Premium dengan Bahan Bakar Premium + HHO Terhadap Torsi dan Daya Mesin .

Torsi dan daya mesin yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar premium dan bahan bakar premium + HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det diperlihatkan dalam bentuk Grafik pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.8. Perbandingan torsi (N.m) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan premium + HHO.

Torsi merupakan ukuran kemampuan *engine* dalam menghasilkan kerja. Pada kehidupan sehari-hari torsi dari *engine* berguna untuk mengatasi hambatan di jalan atau untuk mempercepat laju kendaraan.

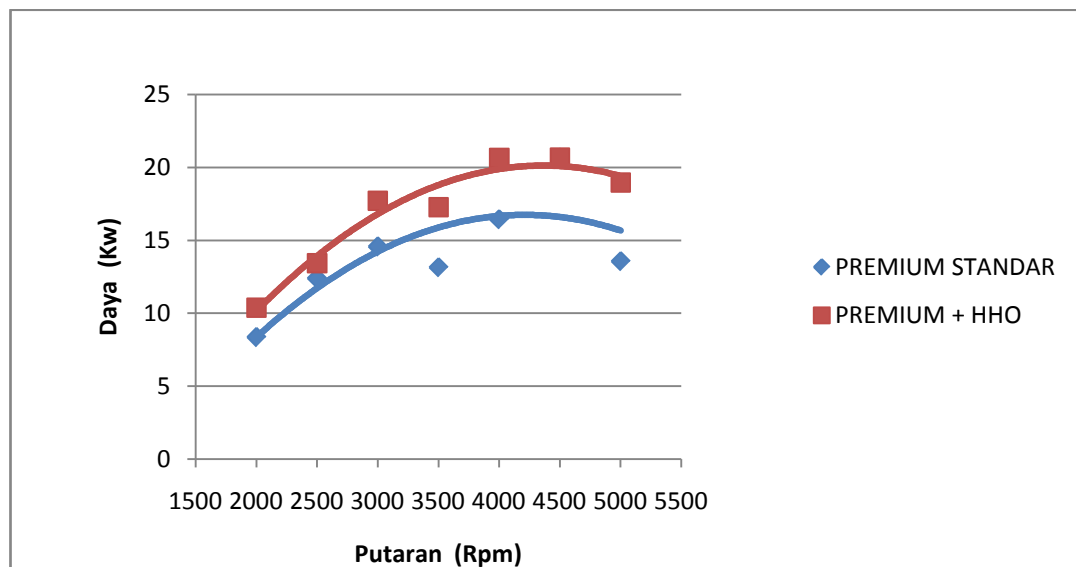
Gambar 4.8 di atas menunjukkan grafik torsi terhadap putaran *engine* pada penggunaan bahan bakar jenis Premium dan bahan bakar Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa *trenline* grafik torsi untuk pengujian Premium dan Premium + HHO pada variasi durasi injeksi terjadi peningkatan nilai torsi pada putaran 2000 rpm sampai puncaknya pada putaran 3000 rpm, kemudian mengalami penurunan sampai pada putaran *engine* 5000 rpm. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran *engine*, jumlah campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran



juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, proses pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran *engine* semakin meningkat, kerugian akibat gesekan (*friction loses*) pada *engine* juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut. Disamping itu, semakin tinggi putaran *engine* waktu pembakaran (*burning duration*) akan berlangsung lebih cepat sehingga dimungkinkan terdapat bahan bakar yang tidak ikut terbakar.

Dari pengujian saat *engine* beroperasi dengan bahan bakar Premium dan bahan bakar Premium+HHO terdapat selisih nilai torsi rata-rata, dimana saat *engine* menggunakan bahan bakar Premium sebesar 46,39 Nm sedangkan ketika menggunakan bahan bakar Premium+HHO sebesar 56,417 Nm atau mengalami penurunan nilai torsi rata-rata sebesar 19,87 % .

Terjadinya penurunan nilai rata-rata torsi tersebut dapat disebabkan oleh adanya faktor nilai densitas dari bahan bakar Premium yang lebih kecil dibandingkan bahan bakar Premium+HHO. Disamping itu kenaikan nilai Torsi dalam eksperimen ini disebabkan dengan penambahan suplai udara. Dimana suplai udara bahan bakar Premium+HHO lebih tinggi dibandingkan bahan bakar Premium seperti diperlihatkan pada gambar 4.14 . Dengan menambahkan suplai udara maka tekanan dan kepadatan campuran bahan bakar Premium+HHO dan udara yang masuk ke dalam ruang bakar bisa lebih tinggi dan torsi yang dihasilkan *engine* lebih meningkat dan bahkan melebihi nilai torsi dari *engine* pada waktu menggunakan bahan bakar premium.



Gambar 4.9. Perbandingan daya mesin (Kw) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO.

Gambar 4.9 di atas menunjukkan grafik Daya terhadap putaran *engine* pada penggunaan bahan bakar jenis Premium dan bahan bakar Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det untuk pengujian dengan variasi durasi injeksi dan nilai AFR. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa *trenline* grafik daya untuk pengujian Premium dan Premium+HHO dengan variasi durasi injeksi terjadi peningkatan nilai Daya pada putaran 2000 rpm sampai putaran 4000 rpm nilai daya *engine* (kW) cenderung naik namun pada putaran yang lebih tinggi Daya *engine* kembali menurun. Dari tren grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa semakin meningkatnya putaran *engine*, jumlah campuran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan semakin meningkat pula. Dengan semakin banyaknya jumlah campuran bahan bakar dan udara yang besar, maka energi atau kalor yang dapat dikonversi menjadi kerja akan semakin besar. Tetapi pada putaran *engine* yang lebih tinggi, *friction losses* yang terjadi cukup tinggi sehingga sebagian Daya yang dihasilkan digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut. Disamping itu, pada putaran yang lebih tinggi terjadi kenaikan temperatur yang cukup signifikan sehingga Daya yang dihasilkan *engine* menjadi lebih rendah.



Berdasarkan Gambar 4.9 melalui pengujian yang dilakukan didapatkan nilai daya tertinggi pada *engine* ketika menggunakan bahan bakar Premium mencapai 16,441 kW pada putaran 4000 r pm. Sementara itu, ketika *engine* menggunakan bahan bakar Premium+HHO Daya tertinggi yang mampu dihasilkan *engine* sebesar 20,654 kW. Secara keseluruhan penurunan Daya pada bahan bakar Premium rata-rata pada putaran *engine* 2000 - 5000 rpm adalah sebesar 20,14 %.

Penyebab terjadinya penurunan Daya *engine*, ketika menggunakan bahan bakar Premium sama seperti penurunan yang terjadi pada Torsi *engine*. Hal ini sesuai dengan rumusan dari daya sendiri, dimana daya merupakan hasil kali antara torsi dengan putaran *engine*. Penyebab dari kejadian tersebut dapat berupa nilai *density* dari bahan bakar Premium yang rendah. Bahwa penyebab dari penurunan nilai Daya sama seperti penurunan nilai Torsi, yakni disebabkan karena *flame speed* dari bahan bakar Premium yang lebih rendah sehingga menyebabkan pembakaran campuran tidak berlangsung baik dan sebagian besar hilang pada dinding silinder *engine*.

Beberapa penyebab torsi dan daya mesin yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar premium lebih rendah dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar premium+HHO, disebabkan antara lain:

1. Nilai Oktan

Nilai oktan merupakan nilai yang menunjukkan tingkat ketahanan terhadap *knocking*. Kompresi rasio yang tinggi membutuhkan nilai oktan tinggi. Kompresi rasio pada *engine* yang digunakan dalam penelitian adalah 9,0:1 dengan bahan bakar premium beroktan 88 sesuai dengan *Lampiran 4 Perbandingan Propertis Bahan Bakar Gasoline dengan Hydrogen* sedang HHO beroktan 130.

Pada bahan bakar premium + HHO memiliki nilai oktan yang tinggi sebesar (130). Ketika bahan bakar premium+HHO dengan nilai oktan 130 digunakan pada *engine* yang berkompresi rasio 9.0:1 maka tentu saja berpengaruh terhadap performa mesin. Hal ini disebabkan karena *ignition lag* menjadi lebih panjang sehingga berdampak pada posisi tekanan maksimum yang mengakibatkan *output power* dari mesin akan bertambah.



2. *Density*

Density yang dimiliki bahan bakar Premium sebesar 0,715 kg/l, lebih rendah bila dibandingkan bahan bakar Premium+HHO yaitu sebesar 0,71549 kg/l. Rendahnya nilai *density* ini tentu saja berdampak pada rendahnya torsi dan daya mesin yang dihasilkan oleh *engine*.

3. *Flame speed*

Flame speed merupakan kecepatan dimana *combustion flame* sampai pada campuran yang mudah terbakar. *Flame speed* bahan bakar premium lebih rendah dibandingkan bahan bakar premium + HHO, hal ini juga dapat terlihat pada Gambar 4.9 dimana λ pada premium $(\lambda) > 1$ sehingga menyebabkan rambatan pembakaran didalam ruang bakar menjadi lambat akibatnya ada sebagian bahan bakar yang belum bereaksi tidak sempurna keluar bersama gas sisa pembakaran ke atmosfer. *Flame speed* mempengaruhi *ignition timing* sehingga *ignition timing* premium+HHO sedikit lebih cepat (dimajukan) dari pada premium.

4. *Air fuel ratio*

Air fuel ratio sangat menentukan perbandingan antara udara dan bahan bakar pada proses pembakaran. Hidrogen memiliki air fuel ratio yang jauh lebih tinggi dibandingkan premium standar. Sebagaimana terlihat pada Tabel 4 Perbandingan Properties Bahan Bakar Gasoline Dengan Hydrogen. Premium memiliki air fuel ratio 14,6 sedangkan hidrogen 34,3. Seperti terlihat pada persamaan berikut ini:

$$\tau = \frac{\eta_f \times \eta_v \times V_d \times Q_{HV} \times \rho_a \times FA}{2\pi n}$$

Dimana:

τ = Torsi (N.m / lbf.ft)

η_f = *Fuel conversion efficiency*

η_v = Efisiensi volumetrik

V_d = Volume langkah

Q_{HV} = *Heating value* dari bahan bakar



ρ_a = *Density* udara

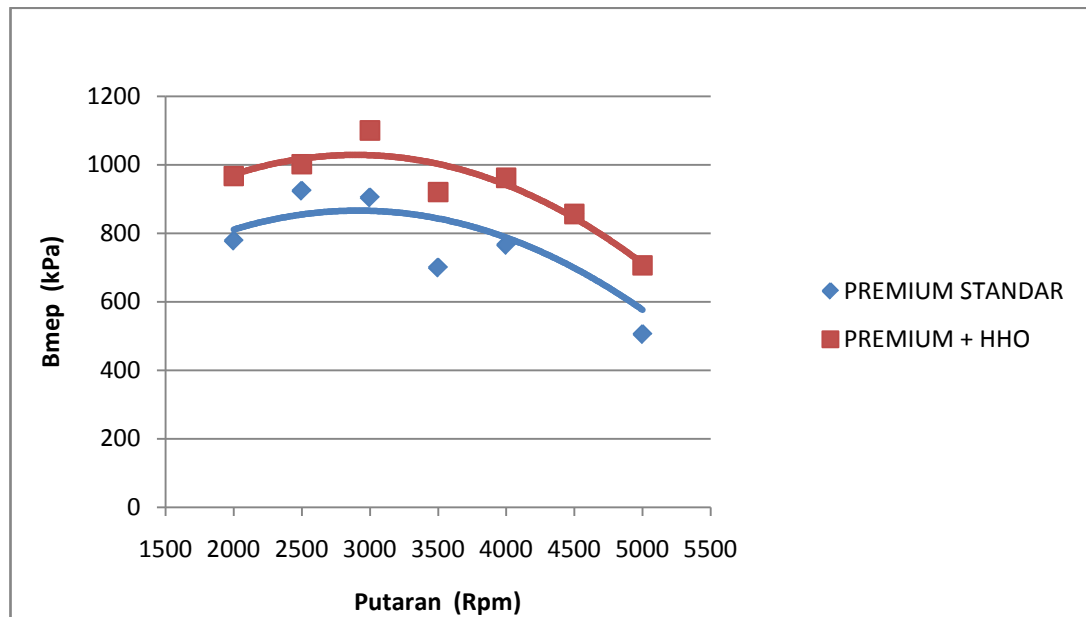
FA = *Fuel air ratio*

n = Putaran mesin

Dari persamaan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa air fuel rasio berpengaruh terhadap torsi dan daya yang dihasilkan oleh mesin. Untuk mesin dengan spesifikasi yang sama, semakin tinggi air fuel rasio dari bahan bakar maka torsi dan daya yang dihasilkan akan semakin tinggi demikian juga sebaliknya. HHO memiliki air fuel rasio yang jauh lebih besar dibandingkan premium. Apabila ditambahkan ke dalam premium, maka campuran HHO + premium tersebut akan memiliki air fuel rasio yang lebih besar dibandingkan premium, sehingga berimbas pada torsi yang dihasilkan campuran HHO+premium lebih tinggi dibandingkan bahan bakar premium standar.

4.4.3 Analisis Penggunaan Bahan Bakar Premium+HHO dengan Bahan Bakar Premium Terhadap Tekanan Efektif rata-rata (Bmep)

Tekanan efektif rata-rata (bmep) dari penggunaan bahan bakar premium dan bahan bakar premium +HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det diperlihatkan dalam bentuk Grafik pada Gambar 4.10. Pada grafik terlihat suatu perbedaan tekanan efektif rata-rata (Bmep) antara bahan bakar premium dengan bahan bakar premium + HHO. Untuk bahan bakar premium +HHO tekanan efektif rata-rata (Bmep) lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar premium.



Gambar 4.10. Perbandingan Bmep (kPa) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dengan bahan bakar premium+HHO

Gambar 4.10. memperlihatkan bahwa pada titik maksimum (putaran mesin 3000 rpm) bmep(kPa) yang dihasilkan penggunaan bahan bakar premium+HHO sebesar 1100 kPa lebih tinggi dibandingkan bmep yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar premium sebesar 904,74 kPa. Bmep(kPa) yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO untuk kisaran putaran 2000 rpm – 5000 rpm adalah dengan penggunaan bahan bakar premium lebih rendah sebesar 19,87 % dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar premium + HHO.

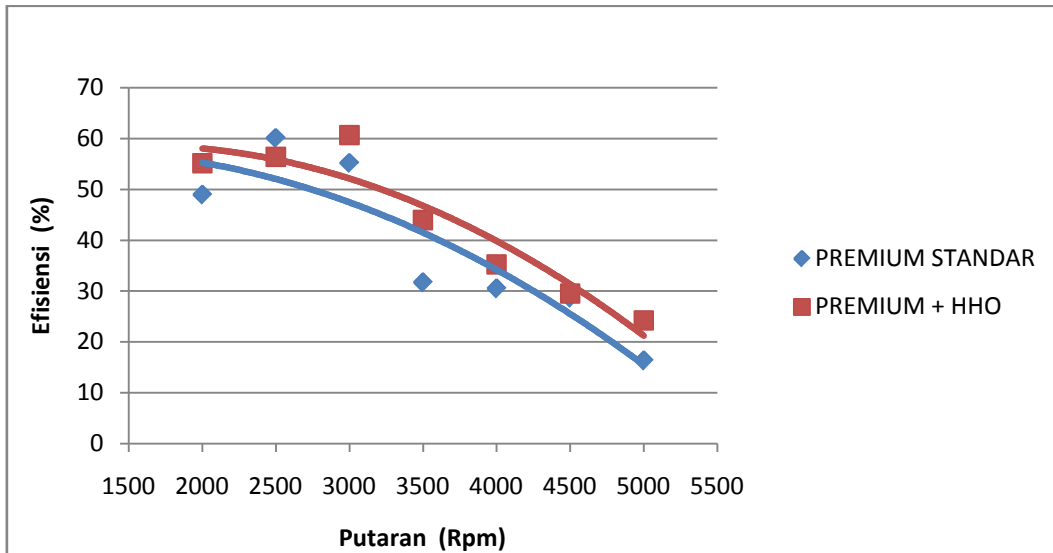
Penurunun yang terjadi pada penggunaan bahan bakar premium disebabkan karena *flame speed* yang dimiliki bahan bakar premium jauh lebih rendah sehingga menyebabkan rambatan pembakaran di dalam ruang bakar menjadi lambat akibatnya tekanan pembakaran yang dihasilkan menjadi kurang optimal dibandingkan penggunaan bahan bakar premium + HHO.

4.4.4 Analisis Penggunaan Bahan Bakar Premium+HHO dengan Bahan Bakar Premium Terhadap Efisiensi.

Efisiensi *thermal* (η_{th}) adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor. Nilai efisiensi



thermal (η_{th}) dari penggunaan bahan bakar Premium + HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det dan pemakaian bahan bakar premium diperlihatkan pada Gambar 4.11. di bawah ini.



Gambar 4.11 Perbandingan efisiensi *thermal*(%) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO.

Pada Gambar 4.11 di atas menunjukkan grafik efisiensi *thermal* fungsi putaran *engine*. Secara umum grafik dari pengujian Premium standar dan Premium+HHO menunjukkan tren yang sama. Pada saat putaran rendah, maka pencampuran bahan bakar berlangsung kurang optimum, sehingga pembakaran yang terjadi kurang sempurna. Pada titik optimum turbulensi bahan bakar dan waktu pembakaran mencapai kondisi yang terbaik sehingga mendapatkan efisiensi yang tertinggi. Seiring dengan penambahan putaran *engine* yang terlalu tinggi justru turbulensi yang terjadi cukup besar sehingga pencampuran bahan bakar dan udara baik tetapi waktu terjadinya pembakaran sangat cepat sehingga sisa bahan bakar banyak yang terbuang.

Dari grafik di atas titik optimum dari efisiensi *thermal* pada bahan bakar premium standar terjadi pada putaran *engine* 2500 rpm sebesar 60,11 %, sedangkan untuk bahan bakar Premium+HHO terjadi pada putaran 3000 rpm sebesar 60,67 % sedang rata-rata perbedaan prosentase pada putaran kisaran 2000 rpm – 5000 rpm bahan bakar Premium+HHO lebih tinggi sebesar 12,39 %



dibandingkan bahan bakar Premium. Hal ini disebabkan karena pengaruh densitas bahan bakar Premium+HHO yang lebih tinggi dari bahan bakar premium sehingga massa bahan bakar Premium+HHO yang masuk ke ruang bakar akan lebih besar dari pada bahan bakar Premium.

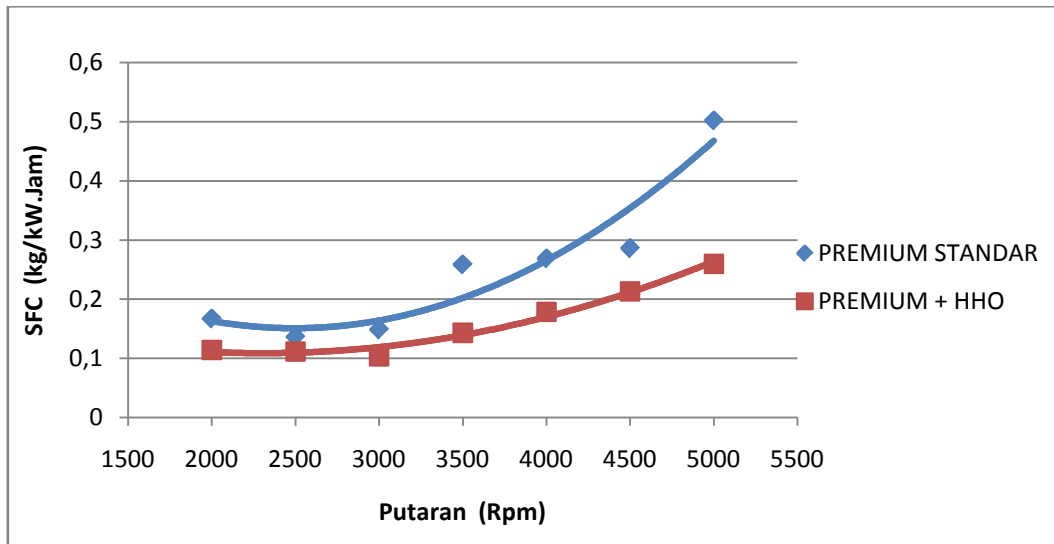
Dari Gambar 4.11 di atas menunjukkan perbedaan nilai efisiensi *thermal* antara bahan bakar Premium+HHO dengan bahan bakar Premium. Dari nilai tersebut terdapat peningkatan rata-rata nilai efisiensi *thermal* pada bahan bakar Premium+HHO. Setiap pengaturan durasi injeksi pada saat *engine* ditambahkan pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det maka suplai udara meningkat dengan menggunakan HHO dibandingkan saat *engine* beroperasi tanpa menggunakan tambahan HHO hal ini diperlihatkan pada gambar grafik 4.14. Hal ini dikarenakan dengan menambahkan pasokan udara pada saluran *intake*, maka tekanan udara yang diinputkan ke dalam ruang bakar akan menaikkan densitas pencampuran, sehingga dapat menaikkan nilai efisiensi *thermal* dari *engine* tersebut.

4.4.5 Analisis Penggunaan Bahan Bakar Premium+HHO dengan Bahan Bakar Premium Terhadap konsumsi Bahan Bakar spesifik (*sfc kg/kW.Jam*).

Pemakaian bahan bakar spesifik didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang terpakai perjam untuk menghasilkan setiap kW daya motor. Berdasarkan Gambar 4.12 di bawah diperlihatkan grafik konsumsi bahan bakar spesifik terhadap fungsi putaran *engine* pada pemakaian bahan bakar premium standar, bahan bakar Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det dengan variasi pengaturan durasi injeksi mempunyai *trendline* yang sama. Konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc kg/kW.Jam*) semakin berkurang ketika kecepatan *engine* mulai naik dari putaran rendah (2000 rpm), sampai mencapai nilai minimum pada putaran (3000 rpm), dan kemudian meningkat kembali pada saat *engine* kecepatan tinggi (5000 rpm). Semakin tinggi kecepatan *engine* maka konsumsi bahan bakar juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan tinggi kerugian gesekan (*friction loss*) akan lebih besar sehingga konsumsi bahan bakar juga



meningkat (Pulkrabek, 1997 hal. 57). Adapun grafik konsumsi bahan bakar spesifik (sfc kg/kW.Jam) dari penggunaan bahan bakar Premium dan Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det dan dengan berbagai variasi durasi injeksi pada *engine* diperlihatkan pada Gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12. Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik (*Sfc* kg/kW.Jam) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium + HHO.

Pada saat *engine* putaran rendah, waktu yang diperlukan lebih lama per siklus menyebabkan kehilangan panas lebih tinggi dan konsumsi bahan bakar meningkat. Konsumsi bahan bakar juga dipengaruhi oleh proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara. Konsumsi bahan bakar spesifik akan rendah ketika proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara berada pada kondisi stoikiometri atau *fuel equivalence ratio* mendekati satu ($\theta = 1$) (Pulkrabek, 1997 hal. 57).

Berdasarkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc kg/kW.Jam) pada grafik di atas, maka dapat diketahui bahwa kebutuhan bahan bakar saat *engine* dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar Premium membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih besar dibandingkan dengan saat dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar premium+HHO. Pada saat *engine* dioperasikan menggunakan bahan bakar Premium durasi injeksi nilai konsumsi bahan bakar



rata-rata sebesar 0,252 kg/kW.jam sedangkan saat menggunakan Premium+HHO sebesar 0,160 kg/kW.jam atau 36,44 % lebih kecil dibandingkan saat *engine* menggunakan bahan bakar premium.

Sedangkan pada pengujian *engine* saat beroperasi dengan variasi durasi dengan menambahkan pasokan udara dengan menggunakan HHO pada saluran *intake manifold*, terjadi penurunan nilai konsumsi bahan bakar jika dibandingkan saat *engine* menggunakan bahan bakar premium. Dari hasil tersebut terdapat tren kenaikan yang sama saat *engine* beroperasi tanpa menggunakan HHO, bahwa konsumsi bahan bakar Premium+HHO akan semakin naik seiring dengan naiknya *settingan* durasi injeksi pada *engine*. Secara rata-rata pada setiap pengaturan durasi injeksi, nilai konsumsi bahan bakar spesifik pada saat *engine* ditambahkan suplai udara menggunakan HHO lebih besar dibandingkan dengan saat tidak menggunakan HHO. Kejadian ini disebabkan karena saat *engine* ditambahkan suplai udara menggunakan HHO terjadi kenaikan Daya yang menyebabkan konsumsi bahan bakar sedikit berkurang.

4.4.6 Analisis Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO), Karbon dioksida (CO₂), dan Hidrokarbon (HC).

Gas buang kendaraan bermotor menjadi masalah sangat krusial saat ini. Untuk itu, perlu diketahui kadar emisi dari mesin premium yang telah dimodifikasi menjadi *bi-fuel* Premium+HHO. Dalam analisa ini gas buang yang akan dibahas adalah karbon monoksida(CO), karbon dioksida(CO₂) dan hidro karbon(HC), dimana % volume menunjukkan prosentase volume gas tersebut terhadap volume total gas buang.

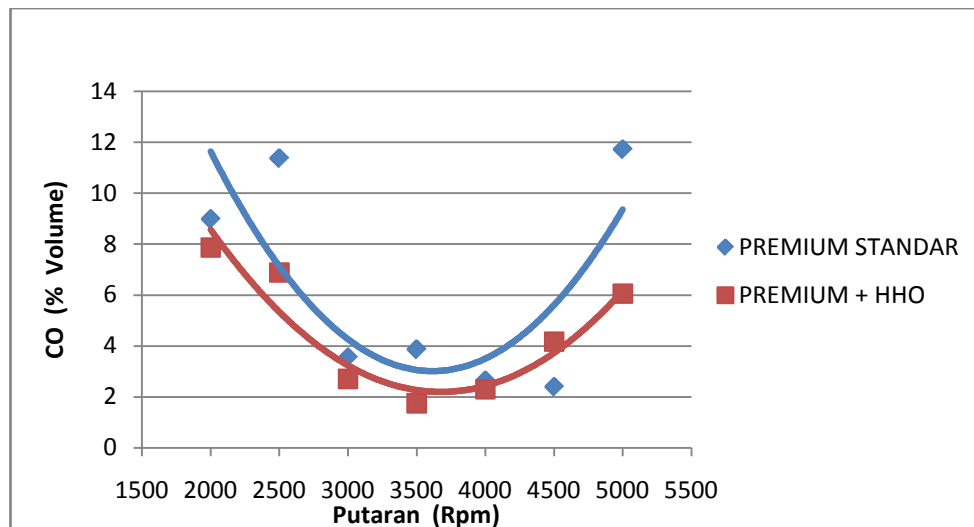
4.4.6.1 Analisis Gas Karbon Monoksida (CO)

Gas ini memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berbau pada suhu di atas titik didihnya, dan mudah larut dalam air. Gas karbon monoksida merupakan senyawa yang sangat reaktif terhadap hemoglobin darah yang dapat menyebabkan darah kekurangan oksigen dan gangguan syaraf. CO pada gas buang kendaraan bermotor terjadi akibat kurang sempurnanya pembakaran di dalam ruang bakar. Kurang sempurnanya pembakaran ini dapat diakibatkan oleh kurangnya pasokan



udara dalam campuran yang masuk ke ruang bakar atau juga bisa diakibatkan kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. Pada saat putaran mesin rendah, maka turbulensi yang terjadi terlalu kecil untuk membentuk homogenitas campuran udara dan bahan bakar sehingga emisi CO pada putaran rendah relatif tinggi. Ketika putaran *engine* dinaikan, tingkat turbulensi campuran didalam ruang bakar meningkat sehingga emisi CO berkurang hingga mencapai titik terendah pada putaran tertentu. Namun, ketika putaran *engine* terus dinaikan hingga putaran maksimal, emisi CO kembali meningkat. Hal ini dikarenakan ketika putaran tinggi waktu untuk menyelesaikan pembakaran cenderung pendek sehingga pembakaran yang terjadi kurang sempurna.

Disamping itu, pada putaran *engine* yang tinggi, temperatur *engine* mengalami kenaikan yang cukup signifikan, khususnya pada bagian dinding silinder, akibat meningkatnya gaya gesek (*friction lose*) dan juga kalor campuran yang diserap oleh dinding silinder. Dengan berkurangnya jumlah campuran udara, maka campuran menjadi lebih kaya lagi sehingga emisi CO yang dihasilkan akan mengalami peningkatan.



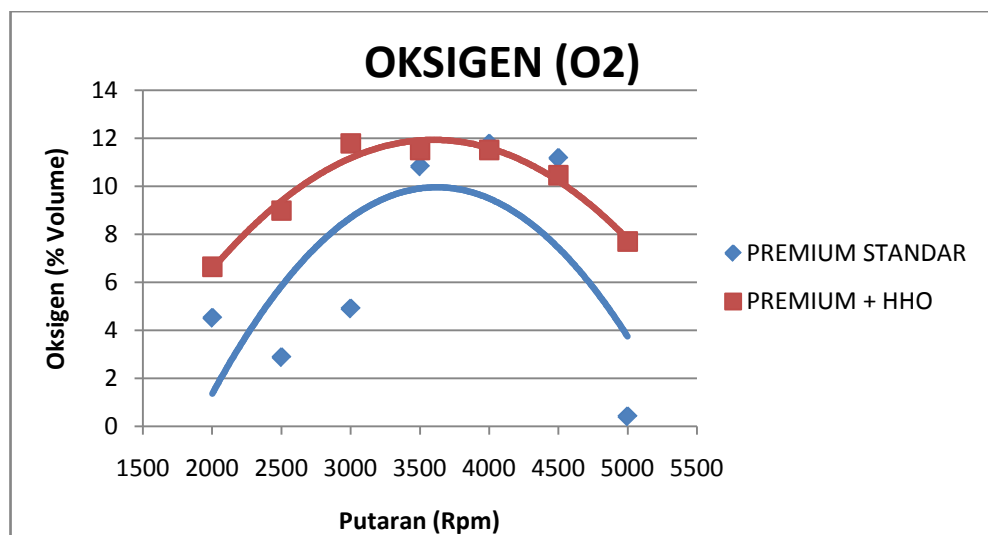
Gambar 4.13. Perbandingan kadar emisi karbon monoksida (CO % volume) terhadap putaran mesin (rpm) dari bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO

Pada Gambar 4.13 di atas, grafik karbon monoksida (CO) fungsi rpm untuk pemakaian bahan bakar Premium dan bahan bakar Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det



didapat nilai kadar CO setiap perubahan durasi injeksi memiliki tren yang hampir sama. Pada tiap-tiap durasi injeksi yang berbeda, bahan bakar Premium+HHO menghasilkan emisi CO yang lebih rendah daripada bahan bakar premium. Hal ini terlihat jelas pada grafik di atas yang mana terjadi penurunan emisi rata-rata 28,76 %. Hal ini dikarenakan, bahan bakar Premium memiliki heating value 439 MJ/kg lebih kecil dibandingkan bahan bakar Premium+HHO 119,93 MJ/kg seperti diperlihatkan pada lampiran Perbandingan Properties Bahan Bakar Gasoline Dengan Hydrogen.

Rendahnya kadar emisi CO yang dihasilkan Premium+HHO dikarenakan sedikit mengandung atom karbon yang menyebabkan pembakaran sempurna dibandingkan bahan bakar premium. Kemudian disebabkan karena bahan bakar premium+HHO dalam bentuk gas sehingga penyebaran karbon dengan oksigen lebih cepat homogen sehingga kebutuhan oksigen terpenuhi pada pembakaran sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan efisien pada mesin, akibatnya Carbon Monoksida (CO) Premium + HHO lebih kecil dibandingkan bahan bakar Premium seperti grafik yang diperlihatkan pada gambar 4.13 dan oksigen bahan bakar Premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det lebih besar bila dibandingkan bahan bakar Premium seperti diperlihatkan grafik pada gambar 4.14.

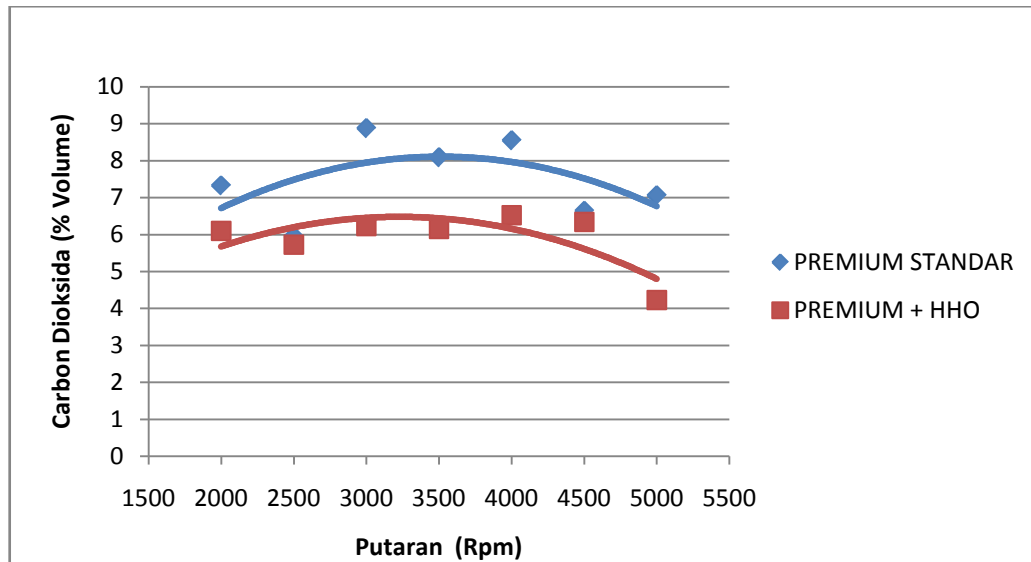


Gambar 4.14. Perbandingan kadar konsentrasi oksigen (O_2 % volume) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dengan bahan bakar premium+HHO.



4.4.6.2 Analisis Gas Karbon Dioksida (CO₂)

Kadar emisi gas buang karbon dioksida (CO₂) dari penggunaan bahan bakar premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 liter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det dan penggunaan bahan bakar premium diperlihatkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Perbandingan kadar emisi karbon dioksida (CO₂ % volume) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO

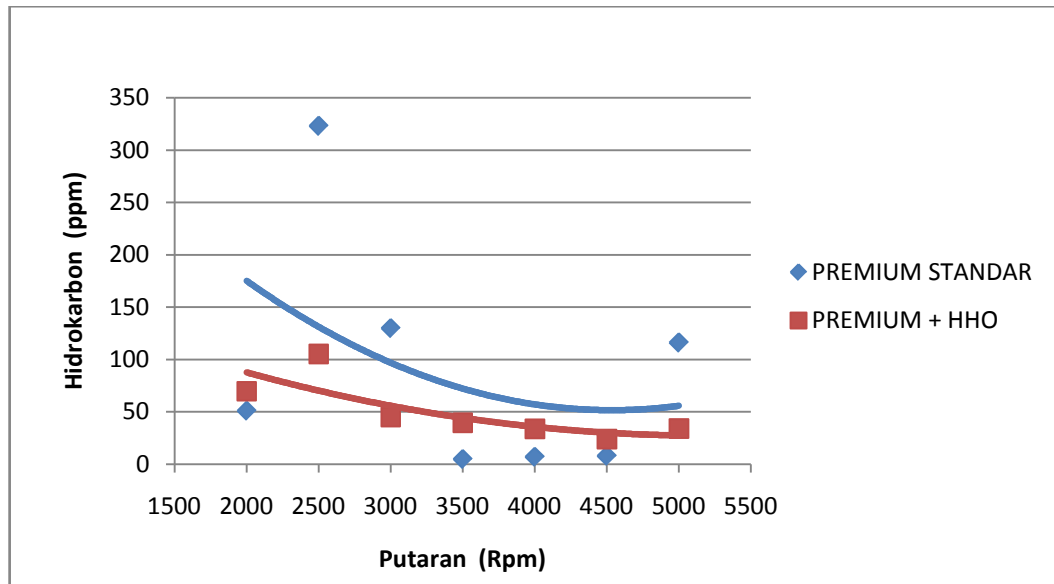
Pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa kadar emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar premium+HHO dan bahan bakar premium untuk kisaran putaran 2000 rpm – 5000 rpm adalah dengan penggunaan bahan bakar premium+HHO 21,303 % lebih rendah dibandingkan menggunakan bahan bakar premium, penurunan terendah pada premium+HHO sebesar 4,231 % pada sedangkan premium sebesar 7,06 % pada putaran 5000 rpm.

Tingginya kadar emisi CO₂ yang dihasilkan premium+HHO dikarenakan kandungan per unit energi pada premium+HHO lebih banyak mengandung karbon yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna dibandingkan bahan bakar premium.



4.4.6.3 Analisis Gas Hidrokarbon (HC)

Kadar emisi gas buang Hidrokarbon (HC ppm) dari penggunaan bahan bakar premium+HHO pada KOH 10 gram per 0,5 l iter aquades dengan laju produksi gas HHO $3,41 \times 10^{-9}$ kg/det dan penggunaan bahan bakar premium diperlihatkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Perbandingan kadar emisi hidrokarbon (HC ppm) terhadap putaran mesin (rpm) pada bahan bakar premium dan bahan bakar premium+HHO.

Pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa kadar emisi HC yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar premium+HHO dan bahan bakar premium untuk kisaran putaran 2000 rpm – 5000 rpm adalah dalam penggunaan bahan bakar premium + HHO 45,039 % lebih tinggi dibandingkan penggunaan bahan bakar premium.

Rendahnya kadar emisi HC yang dihasilkan bahan premium dikarenakan *flame speed* pada bahan bakar premium lebih rendah sehingga menyebabkan rambatan pembakaran didalam ruang bakar menjadi lambat akibatnya ada sebagian bahan bakar yang belum bereaksi sempurna keluar bersama gas sisa pembakaran ke atmosfer sehingga berdampak pada Hidrokarbon (HC) bahan bakar premium lebih besar dibandingkan bahan bakar premium + HHO. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.15, dimana hasil pembakaran penggunaan



bahan bakar premium sebesar 91,42 ppm sedang bahan bakar Premium+HHO sebesar 50,25 ppm. Hal ini dapat pula ditunjukkan hubungannya dengan lamda seperti diperlihatkan pada gambar 4.7. Dimana lamda bahan bakar premium+HHO lebih kecil dibandingkan dengan lamda bahan bakar premium akibatnya dari kondisi pembakaran tersebut dapat menghasilkan energi yang lebih besar dan flame speed yang terjadi lebih cepat mengakibatkan pembakaran bahan bakar premium+HHO lebih sempurna dibandingkan dengan bahan bakar premium.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan tersebut diatas saya dapat menarik kesimpulan serta memberikan saran dan masukan tentang penggunaan bahan bakar premium dan bahan bakar premium + HHO yang diuji cobakan pada Mesin Sinjai. Analisis Peforme mesin Sinjai dimulai pada putaran 2000 rpm sampai 5000 rpm.

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

a. Menghemat penggunaan bahan bakar pada kendaraan.

Dengan penggunaan alat ini pemakaian konsumsi bahan bakar spesifik pada bahan bakar Premium+HHO berkurang sebesar 36,44 %. Efisiensi thermal meningkat sebesar 12,39 %, Tekanan efektif rata-rata sebesar 19,87 % dibandingkan bahan bakar Premium pada Mesin Sinjai. Karena gas brown yang dihasilkan dari alat ini, pada saat bercampur dengan bahan bakar premium dalam mesin di ruang bakar, gas tersebut dapat menaikkan tingkat bilangan oktan pada bahan bakar dari 88 menjadi 105. Akibatnya bahan bakar yang digunakan menjadi makin optimal dan efisien digunakan. Karena makin tinggi nilai tingkat oktan suatu bahan bakar pembakaran yang terjadi makin sempurna.

b. Meningkatkan tenaga kendaraan

Penggunaan alat ini pada kendaraan dapat meningkatkan power/tenaga mesin kendaraan. Torsi yang dihasilkan pada bahan bakar Premium+HHO meningkat sebesar 19,87 %. Daya meningkat sebesar 20,14 % dibandingkan bahan bakar Premium. Hal ini bisa terjadi ada kaitannya dengan penambahan gas brown/ HHO hasil alat pengirit bahan bakar ini, yang menyebabkan pembakaran pada mesin makin sempurna. Akibat makin sempurnanya pembakaran, kinerja mesin juga makin meningkat dari biasanya.

c. Mengurangi polusi dari mesin kendaraan

Pembakaran yang sempurna terjadi dengan penggunaan alat ini pada Mesin Sinjai. Hasilnya membuat dalam komponen-komponen dalam mesin menjadi lebih bersih, dan mengurangi kandungan karbon dalam mesin, begitu juga



kandungan karbon pada gas hasil pembakaran. Dengan penggunaan bahan bakar Premium+HHO penurunan kadar emisi karbon monoksida (CO) sebesar 28,756 %; penurunan kadar emisi karbon dioksida (CO₂) sebesar 21,303 %; dan penurunan kadar emisi hidrokarbon (HC) sebesar 45,039 % ; penurunan nilai lambda (λ) sebesar 14,572 % ; peningkatan oksigen (O₂) sebesar 47,554 % dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar premium pada mesin Sinjai. Emisi gas buang yang dihasilkan dan dikeluarkan di knalpot Mesin Sinjai mengakibatkan kandungan karbon yang beracun buat lingkungan menjadi makin berkurang, dan terganti dengan beberapa gas hidrogen hidrogen oksida yang merupakan hasil dari alat pengirit bahan bakar ini.

5.2. Saran

Dari serangkaian pengujian, perhitungan, dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran untuk perlu dikaji sebagai berikut:

- a. Adanya kebijakan pemerintah dalam produksi alat tersebut dan pengembangannya sehingga masyarakat dapat menggunakan dalam penghematan bahan bakar untuk kendaraannya.
- b. Adanya sosialisasi cara kerja alat tersebut dan promosi penggunaan alat tersebut pada masyarakat umum.
- c. Dalam melakukan eksperimen perlu diperhatikan tentang keselamatan dalam pengoperasian semua peralatan di laboratorium.



Halaman ini sengaja dikosongkan

3. Komposisi Kimia Bahan Bakar Premium Pertamina

	PT. PERTAMINA (PERSERO) Direktorat – Pemasaran dan Niaga	Tanggal Pembuatan : Juni 2007 Revisi ke : - Halaman : 5 dari 9
---	--	--

DATA FISIK DAN KIMIAWI

KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN				METOE UJI	
		TANPA TIMBAL		BERTIMBAL		ASTM	LAIN
		MIN	MAKS	MIN	MAKS		
1. Bilangan Oktana							
- Angka Oktana Riset (RON)	RON	88.0		88,0	-	D 2699-86	
- Angka Oktana Motor (MON)		dilaporkan		dilaporkan		D 2700-86	
2. Stabilitas Oksida (Periode Induksi)	menit	360	-	360	-	D 525-99	
3. Kandungan Sulfur	% m/m		0,05 ¹⁾	-	0,05 ¹⁾	D 2622-98	
4. Kandungan Timbal (Pb)	gr/ l	-	0,013	-	0.3	D 3237-97	
5. Distilasi :						D 86-99a	
10% vol. Penguapan	°C	-	74	-	74		
50% vol. penguapan	°C	88	125	88	125		
90% vol. Penguapan	°C		180		180		
Titik didih akhir	°C	-	215	-	205		
Residu	% vol	-	2.0	-	2.0		
6. Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,72)	-	2,7 ²⁾	D 4815-94a	
7. Washed gum	mg/100ml	-	5	-	5	D 381-99	
8. Tekanan Uap	kPa	-	62	-	62	D 5191/D 323	
9. Berat Jenis pada suhu 15°C	kg/m ³	715	780	715	780	D 4052/D1298	
10. Korosi bilah tembaga	menit	Kelas 1		Kelas 1		D-130-94	
11. Uji Doctor		negatif		negatif			IP 30
12. Sulfur Mercaptan	% massa	-	0.002	-	0.002	D-3227	
13. Penampilan visual		Jernih & terang		Jernih & terang			
14. Warna		Merah		Merah			
15. kandungan pewarna	gr/100 l	0,13		0,13			
16. Bau		dapat dipasarkan		dapat dipasarkan			

4. Perbandingan Properties Bahan Bakar Gasoline Dengan Hydrogen

The properties of hydrogen		
Properties	Unleaded gasoline	Hydrogen
Autoignition temperature (K)	533 – 733	858
Minimum ignition energy (mJ)	0.24	0.02
Flammability limits (volume % in air)	1.4 - 7.6	4 - 75
Stoichiometric air-fuel ratio on mass basis	14.6	34.3
Limits of flammability (equivalence ratio)	0.7 - 3.8	0.1 – 7.1
Density at 16 _C and 1.01 bar (kg/m3)	721 - 785	0.0838
Net heating value (MJ/kg)	43.9	119.93
Flame velocity (cm/s)	37 – 43	265 – 325
Quenching gap in NTP air (cm)	0.2	0.064
Diffusivity in air (cm2/s)	0.08	0.63
Research octane number	92 – 98	130
Motor octane number	80 – 90	-
Flashpoint	Approximately –45 °F (–43 °C; 230 K)	< –423 °F (< – 253 °C; 20 K)

Sumber : International journal of hydrogen energy 35 (Ali Can Yilmaz, Erinc, Uludamar, Kadir Aydin 2010) 11366 – 11372 dan hydrogen fuel cell engines and related technologies: Rev 0, December 2001

5. Perbandingan nilai properti termokimia pada kondisi atmosfer.

TABLE A-25 Thermochemical Properties of Selected Substances at 298K and 1 atm

Substance	Formula	Molar Mass, M (kg/kmol)	Enthalpy of Formation, \bar{h}_f° (kJ/kmol)	Gibbs Function of Formation, \bar{g}_f° (kJ/kmol)	Absolute Entropy, \bar{s}° (kJ/kmol · K)	Heating Values	
						Higher, HHV (kJ/kg)	Lower, LHV (kJ/kg)
Carbon	C(s)	12.01	0	0	5.74	32,770	32,770
Hydrogen	H ₂ (g)	2.016	0	0	130.57	141,780	119,950
Nitrogen	N ₂ (g)	28.01	0	0	191.50	—	—
Oxygen	O ₂ (g)	32.00	0	0	205.03	—	—
Carbon monoxide	CO(g)	28.01	−110,530	−137,150	197.54	—	—
Carbon dioxide	CO ₂ (g)	44.01	−393,520	−394,380	213.69	—	—
Water	H ₂ O(g)	18.02	−241,820	−228,590	188.72	—	—
Water	H ₂ O(l)	18.02	−285,830	−237,180	69.95	—	—
Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂ (g)	34.02	−136,310	−105,600	232.63	—	—
Ammonia	NH ₃ (g)	17.03	−46,190	−16,590	192.33	—	—
Oxygen	O(g)	16.00	249,170	231,770	160.95	—	—
Hydrogen	H(g)	1.008	218,000	203,290	114.61	—	—
Nitrogen	N(g)	14.01	472,680	455,510	153.19	—	—
Hydroxyl	OH(g)	17.01	39,460	34,280	183.75	—	—
Methane	CH ₄ (g)	16.04	−74,850	−50,790	186.16	55,510	50,020
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	49,910	48,220
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	50,300	47,160
Ethane	C ₂ H ₆ (g)	30.07	−84,680	−32,890	229.49	51,870	47,480
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	42.08	20,410	62,720	266.94	48,920	45,780
Propane	C ₃ H ₈ (g)	44.09	−103,850	−23,490	269.91	50,350	46,360
Butane	C ₄ H ₁₀ (g)	58.12	−126,150	−15,710	310.03	49,500	45,720
Pentane	C ₅ H ₁₂ (g)	72.15	−146,440	−8,200	348.40	49,010	45,350
Octane	C ₈ H ₁₈ (g)	114.22	−208,450	17,320	463.67	48,260	44,790
Octane	C ₈ H ₁₈ (l)	114.22	−249,910	6,610	360.79	47,900	44,430
Benzene	C ₆ H ₆ (g)	78.11	82,930	129,660	269.20	42,270	40,580
Methyl alcohol	CH ₃ OH(g)	32.04	−200,890	−162,140	239.70	23,850	21,110
Methyl alcohol	CH ₃ OH(l)	32.04	−238,810	−166,290	126.80	22,670	19,920
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH(g)	46.07	−235,310	−168,570	282.59	30,590	27,720
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH(l)	46.07	−277,690	174,890	160.70	29,670	26,800

Sumber : Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, (1971) ; *Selected Value Note 270-3*, 1968 ; and *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.

1. Data Hasil Perhitungan Generator HHO

Jadwal Uji	Cell	Plate Netral	KOH (Gram)	Waktu Uji (menit)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Temperatur (°K)	Waktu KOH (S/500 ml)	Debit HHO ml/det	Laju Produksi HHO ml/det	η	Effisiensi
20-7-2014	6	5	10	15	12.2	11.57	141.15	298	72	6.94E-09	3.41E-09	0.000284	57.50
				30	12.4	14.49	179.68	321	61	8.19E-09	4.02E-09	0.000311	49.50
				45	12.3	14.9	183.27	334	52	9.61E-09	4.72E-09	0.000351	54.71
				60	12.1	15.87	192.03	339	38	1.31E-08	6.46E-09	0.000473	70.40
				75	12	16.83	201.96	341	35	1.42E-08	7.01E-09	0.000511	72.25
				90	12.1	17.25	208.73	345	34	1.47E-08	7.22E-09	0.000519	71.13
				105	12.3	17.35	213.41	347	31	1.61E-08	7.92E-09	0.000566	75.86
	RATA-RATA				12.2	15.46	188.6	332.14	46.14	1.18E-08	5.82E-09	0.000431	64.48
	6	5	8	15	12.1	11.52	139.39	298	78	6.41E-09	3.14E-09	0.000262	53.75
				30	12.3	14.15	174.05	320	76	6.57E-09	3.23E-09	0.000251	41.14
				45	12.1	14.58	176.42	330	61	8.19E-09	4.02E-09	0.000302	49.04
				60	12.2	14.76	180.07	331	45	1.11E-08	5.45E-09	0.000409	64.93
				75	12.1	15.95	193	334	39	1.28E-08	6.29E-09	0.000467	69.27
				90	12.2	16.68	203.5	344	38	1.31E-08	6.46E-09	0.000466	65.47
				105	12.2	16.78	204.72	346	37	1.35E-8	6.63E-09	0.000475	66.45
	RATA-RATA				12.17	14.91	181.59	329	53.42	1.02E-08	5.03E-09	0.000376	58.58
	6	5	6	15	12	11.45	137.4	298	85	5.88E-09	2.88E-09	0.000241	50.04
				30	12.1	14.06	17.13	312	74	6.75E-09	3.31E-09	0.000263	44.34
				45	12.3	14.35	176.51	321	65	7.69E-09	3.77E-09	0.000292	47.29
				60	12.2	14.64	178.61	332	51	9.80E-09	4.81E-09	0.000359	57.59
				75	12.2	15.88	193.74	333	47	1.06E-08	5.22E-09	0.000389	57.44
				90	12.1	16.51	199.77	339	46	1.09E-08	5.33E-09	0.000391	55.91
				105	12.2	16.67	203.37	343	33	1.51E-08	7.44E-09	0.000538	75.65
	RATA-RATA				12.15	14.79	179.9	325.42	57.28	9.54E-09	4.68E-09	0.00035	55.46

2. Lampiran Data Penelitian Dan Hasil Perhitungan Pada Mesin Sinjai

2.1. Data Bahan Bakar Premium Standar

RPM	Daya KW	Torsi (N.m)	Temperatur				Waktu Konsumsi 25 cc/sec	SFC Kg/kwh	Bmep (kpa)	Efisiensi
			Temp Engine (°K)	Temp Exhaust (°K)	Temp Radiator (°K)	Temp Olie (°K)				
2000	8.35	39.90	98	513	94	68	46.02	0.167	778.17	48.98
2500	12.40	47.39	84	535	97	99	38.04	0.136	924.25	60.11
3000	14.56	46.39	82	619	99	89	29.73	0.148	904.74	55.18
3500	13.15	35.90	86	631	102	104	18.91	0.258	700.16	31.69
4000	16.44	39.27	89	646	106	98	14.55	0.269	765.88	30.48
4500	20.67	43.90	94	658	110	102	10.88	0.286	856.18	28.66
5000	13.56	25.92	97	682	113	104	9.45	0.501	505.52	16.33
RATA-RATA	14.16	39.81	90	612	103	94.85	167.58	0.252	776.41	38.78

Emisi Gas Buang Bahan Bakar Premium Standar

RPM	Emisi Gas Buang				
	CO	CO2	HC	O2	LAMDA
2000	8.977	7.33	51	4.52	1.8
2500	11.367	5.95	323	2.88	0.765
3000	3.556	8.88	130	4.91	1.121
3500	3.862	8.09	5	10.83	1.559
4000	2.65	8.55	7	11.78	1.743
4500	2.4	6.65	8	11.17	1.721
5000	11.722	7.06	116	0.42	0.689
RATA-RATA	6.362	7.501	91.428	6.644	1.342

2.2. Data Bahan Bakar Premium + HHO

RPM	Daya KW	Torsi (N.m)	Temperatur				Waktu Konsumsi 25 cc/sec	SFC Kg/kwh	Bmep (kpa)	Efisiensi
			Temp Engine (°K)	Temp Exhaust (°K)	Temp Radiator (°K)	Temp Olie (°K)				
2000	10.38	49.59	116	491	113	118	54.33	0.114	967.28	55.11
2500	13.43	51.35	109	567	112	117	42.95	0.111	1001.65	56.39
3000	17.71	56.41	99	620	110	114	35.05	0.103	1100.32	60.67
3500	17.28	47.18	95	664	108	111	26.06	0.143	920.23	43.94
4000	20.65	49.33	86	686	95	98	17.46	0.178	962.14	35.23
4500	20.68	43.91	78	684	86	93	14.60	0.213	856.53	29.51
5000	18.96	36.23	69	651	77	84	13.07	0.259	706.67	24.22
RATA-RATA	17.01	47.72	93.07	623.26	100.05	104.94	29.07	0.160	930.69	43.58

Emisi Gas Buang Bahan Bakar Premium + HHO

RPM	Emisi Gas Buang				
	CO	CO2	HC	O2	LAMDA
2000	7.865	6.103	69.75	6.65	1.174
2500	6.882	5.73	105.37	8.99	1.053
3000	2.705	6.231	45.125	11.786	1.002
3500	1.750	6.153	39.625	11.516	1.463
4000	2.295	6.528	33.75	11.515	1.186
4500	4.174	6.345	24	10.465	1.297
5000	6.054	4.231	34.125	7.705	0.852
RATA-RATA	4.532	5.903	50.25	9.803	1.146

2.3. Perbandingan Prosentase Antara Bahan Bakar Premium Dengan Bahan Bakar Premium + HHO

Bahan Bakar	Daya (kw)	Torsi (N.m)	SFC kg/kwh	Bmep (kPa)	Efisiensi	CO	CO2	HC	O2	Lamda
Premium	14.16	39.81	0.252	776.41	38.78	6.362	7.501	91.428	6.644	1.342
Premium + HHO	17.01	47.72	0.160	930.69	43.58	4.532	5.903	50.25	9.803	1.146
Prosentase	-20.14	-19.87	36.44	-19.87	-12.39	28.756	21.303	45.03	-47.554	14.572

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Lampiran:	Halaman
Lampiran 1 Daftar hasil perhitungan generator HHO	81
Lampiran 2 Lampiran data penelitian dan hasil perhitungan	
Pada mesin Sinjai	82
2.1. Lampiran bahan bakar premium standar	82
2.2. Lampiran data menggunakan premium+HHO	83
2.3. Perbandingan prosentase antara bahan bakar premium dengan bahan bakar premium+HHO	84
Lampiran 3 Komposisi kimia bahan bakar premium Pertamina	85
Lampiran 4 Perbandingan properties bahan bakar gasoline dengan hydrogen	86
Lampiran 5 Perbandingan nilai properti termokimia pada kondisi atmosfer	87

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- A. Ammar dan Al-Rousan “*Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold*” fuel, Vol. 35, hal 12930-12935.
- Arismunandar, Wiranto, (2005), *Penggerak Mula: Motor Bakar Torak*, Penerbit ITB, Bandung.
- Achmad Aminudin , (2014), *Performance test of sinjai engine bi-fuel system (gasoline-compressed natural gas) with control of injection time and air fuel ratio*, Tesis S2 ITS, Surabaya
- Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, (1971) ; *Selected Value Note 270-3*, 1968 ; and *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.
- Dirjend Migas, (2006), *Standard dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin yang Dipasarkan Dalam Negeri*, Keputusan Direktur jendral Minyak dan Gas Bumi, Jakarta.
- Cobb, H.M. (1999). *Steel Product Manual: Stainless Steel*. Warrendale P.A: Iron & Steel Society.
- Guntur, H.L., Rasiawan, Sampurno B, Sutantra I.N.(2011), “*Pengembangan Sistem Suplai Brown Gas Model 6 Ruang Tersusun pada Mesin Mobil 1300cc dengan Sistem Karburator*”, Jurnal Teknik Mesin, Vol.13,No.1,hal.13-17.
- Gaikwad, K.S. (2004), “*Development of a Solid Electrolyte for Hydrogen Production*. Thesis. Master of Science in Electrical Engineering Department of Electrical Engineering College of Engineering University of South Florida.
- Heisler, Heinz, (1995), “*Advanced Engine Tecnology*”,Edward Arnold,London. F.
- Hidayatullah, P & Mustari, (2008) *Rahasia Bahan Bakar Air*. Ufuk Press.
- Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev 0, December 2001
- Jama, Jalius & Wagino, (2008), *Teknik Sepeda Motor*”, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Depertemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Kawano, Sungkono D, (2011), *Motor Bakar Torak (bensin)*, ITS Press, Surabaya.
- Komisi Eropa Tim Kerja Kendaraan Berbahan Bakar Gas, (2000), *Panduan Para Penentu Kebijakan Pada Kendaraan Berbahan Gas*, The European Commission Directorate-General Energy and Transport, Germani.
- Lowrie, Peter. W.E. (2005). *Electrolytic Gas*. <http://waterpoweredcar.com/pdf.files/egas-calculations.pdf>

- Musmar, Sa'ed A dan Al-Rousan, Ammar A, "*Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines*" *fuel*, Vol 90, hal 3066-3070
- Murillo, S., Miguez, J.L., Porteiro, J., Gonjalez, L.M.L., Granada, E., Moran, J.C, (2005), "*LPG: Pollutant Emission and Performance Enhancement for Spark Ignition Outboard Engines*" *Applied Thermal Engineering*, Vol.25, hal.1882-1893.
- Obert, Edward F, (1973), *Internal Combustion Engines and Air Pollution*, Harper & Row, Publisher, Inc, New York.
- Perpres, (2012), *Penyediaan, Pendistribusian, dan Penetapan Harga Bahan Bakar Gas Untuk Transportasi Jalan*, Jakarta.
- Pulkrabek, Willard W (1997), *Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, New Jersey.
- Pusdatin ESDM, (2010), *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*, Jakarta.
- Pusdatin ESDM, (2011), *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*, Jakarta.
- Robert, Bosch GmbH, (2006), *Gasoline-Engine Management*, John Wiley, England.
- SAE, 2008, *Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression Ignition-Net Power Rating*, SAE J1349, U.S.A.
- SNI, 2005, *Emisi Gas Buang-Sumber Bergerak- Bagian 1: Cara Uji Kendaraan Bermotor kategori M,N dan O Berpenggerak Penyalaan Cetus Api Pada Kondisi Idle*, Badan Standarisasi Nasional 09-7118.1.2005, Jakarta.
- Setiyo, Muji, (2010), *Menjadi Mekanik Spesialis Kelistrikan Sepeda Motor*, Alfabeta, Bandung.
- Swisscontact, (2001), *Pengetahuan Dasar Perawatan Kendaraan Niaga (Bus), Clean Air Project (CAP) – Swisscontact*, Jakarta.
- Service manual LJ276M/LJ276MT-2 *Gasoline Engine. Shanghai Goka Sports Motor Co., Ltd*
- Nofriyandi. R , (2014), *Aplikasi gas hho pada sepeda motor 150 cc*, Tesis S2 ITS, Surabaya
- Warju, (2009), *Pengujian Performa mesin Kendaraan Bermotor*, Unesa University Press, Surabaya.
- Yilmaz, Ali Can., Erinc., Uludamar., Aydin Kadir, (2010), "*Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines*" *hydrogen energy*, Vol. 35, hal 11366-11372.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama	: Muhamad Yunus Abdullah
Tempat, Tanggal Lahir	: Mawasangka/Buton, 11 Mei 1969
Jenis Kelamin	: Laki - laki
Agama	: Islam
Pendidikan Terakhir	: S2 Teknik Mesin ITS
Pekerjaan	: TNI-AL
Alamat Asal	: Jln. Mutiara 1.2/11-B Blok AA.02 Driyorejo Kota Baru Gresik
No. HP	: 08134361196
E-mail	: muhamadyunus13@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Tahun	Pendidikan Umum
• 1976 – 1982	SD Negeri 1 Bau-Bau
• 1982 – 1985	SMP Negeri 1 Bau-Bau
• 1985 – 1988	SMA Negeri 1 Bau-Bau
• 1988 – 1995	Universitas Muslim Indonesia Makassar
• 2013 – 215	Teknik Mesin Rekayasa Konversi Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Tahun	Pendidikan Militer
• 1996	SEPA PK 3
• 2003	Dikspespa Staf
• 2007	Diklapa II Banpur

RIWAYAT PENUGASAN

Tahun	Penugasan
• 1996	Kepala Satuan Fasilitas Pangkalan Lanal Merauke
• 2000	Fasharkan Surabaya Kasubsi Pompa
• 2004	Kepala Dinas Angkutan Lantamal VIII Ambon
• 2005	Kasubdis Daya Guna Dispotmar Lantamal VIII Ambon
• 2007	Kasubdis Bekca Disbek Lantamal VI Makassar
• 2008	Kepala Seksi Prasarana Ditlog AAL Surabaya
• 2011-Sekarang	Kepala Seksi Perencanaan Ditlog AAL Surabaya